

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроенерготехніки та автоматики

Кафедра техніки і електрофізики високих напруг

«На правах рукопису»
УДК 621.317.3

«До захисту допущено»

В. о. завідувача кафедри

_____ В. О. Бржезицький

«23» ____ 05 ____ 2018 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**на тему: «Вимірювання показників якості електроенергії на високій напрузі
з використанням аналізатора ELSPEC G4400»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ЕВ-61м

Закревський Юрій Сергійович _____

Керівник:

Професор кафедри техніки і електрофізики високих напруг,

д.т.н, професор, Бржезицький В. О. _____

Консультант з розділу маркетингу:

Ст. викладач кафедри промислового маркетингу, к.е.н.,

Царьова Т. О. _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра техніки і електрофізики високих напруг

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(спеціалізація «Техніка та електрофізика високих напруг»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора
ТОВ «ІНТЕЛТЕХ»

_____ О. А. Філонова
«__» _____ 20__ р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ В. О. Бржезицький
«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Закревському Юрію Сергійовичу

1. Тема дисертації «Вимірювання показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4400», науковий керівник дисертації Бржезицький Володимир Олександрович, д.т.н., професор, затверджені наказом по університету від 21.03.2018 р. № 981-с

2. Термін подання студентом дисертації травень 2018 року

3. Об'єкт дослідження: вимірювання показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430.

4. Предмет дослідження: методика вимірювання показників якості електроенергії аналізатором ELSPEC G4430.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1. Провести аналіз літературних джерел стосовно існуючих аналізаторів якості електроенергії. Оглянути їх характеристики, принцип дії та особливості застосування.

2. Провести детальний огляд характеристик аналізатора ELSPEC G4430 та зробити висновки щодо його переваг над аналізаторами якості електроенергії інших провідних виробників.

3. Скласти схеми для узгодження аналізатора ELSPEC G4430 з низьковольтним плечем подільника напруги та провести виміри спаду напруги для 40-а перших гармонік та імпульсних частот на низьковольтному плечі та на аналізаторі підключеному за допомогою кабелю довжинами 5м, 10м та 15м.

4. Провести розрахунок та аналіз похибки спаду напруги за виміряними значеннями спаду напруги для 40-а перших гармонік та імпульсних частот на низьковольтному плечі та на аналізаторі підключеному за допомогою кабелю довжинами 5м, 10м та 15м.

5. Розглянути аспекти маркетингового розвитку проведеного в роботі дослідження.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: схеми заміщення, графіки залежності.

7. Орієнтовний перелік публікацій: 2 публікації

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Маркетинг високовольтного обладнання	Царьова Т. О., ст. викладач кафедри промислового маркетингу		

9. Дата видачі завдання 06.02.2018

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналітичний огляд аналізаторів якості електроенергії	Січень 2018	Виконано
2	Характеристика приладу ELSPEC G4430	Лютий 2018	Виконано
3	Узгодження приладу ELSPEC G4430 з низьковольтним плечем подільника напруги	Березень 2018	Виконано
4	Розрахунок відхилення значення спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 за допомогою ПЗ	Квітень 2018	Виконано
5	Стартап: комерціалізація вимірювання показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430	Травень 2018	Виконано

Студент

(підпис)

Закревський Ю.С.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник

(підпис)

В. О. Бржезицький
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить: сторінок – 120, рисунків – 41, таблиць – 41.

Актуальність роботи. Якість електричної енергії – є основним фактором, який впливає на надійність електропостачання. Погіршення якості електроенергії негативним чином впливає на ефективність роботи електрообладнання. Також, погана якість електроенергії, може призвести до матеріальних збитків, до необхідності ремонту електрообладнання, або, в гіршому випадку, до його повної заміни.

Виникає необхідність застосування спеціального обладнання – аналізаторів, для контролю стану якості електроенергії. Так як не всі аналізатори придатні для вимірювання показників якості електроенергії на високій напрузі, тому виникає необхідність узгодження аналізатор якості електроенергії з подільниками напруги.

Отже, вимірювання показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430 та узгодження його з низьковольтним плечем подільника напруги є актуальним питанням сучасної енергетики.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Магістерська дисертація виконувалась згідно з планом науково-дослідних робіт кафедри техніки і електрофізики високих напруг Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Мета та задачі роботи. Метою роботи є вимірювання показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430.

Для досягнення поставленої мети в дисертації необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз літературних джерел стосовно існуючих аналізаторів якості електроенергії. Оглянути їх характеристики, принцип дії та особливості застосування.
2. Провести детальний огляд характеристик аналізатора ELSPEC G4430 та зробити висновки щодо його переваг над аналізаторами якості електроенергії інших провідних виробників.

3. Скласти схеми для узгодження аналізатора ELSPEC G4430 з низьковольтним плечем подільника напруги та провести виміри спаду напруги для 40-а перших гармонік та імпульсних частот на низьковольтному плечі та на аналізаторі підключеному за допомогою кабелю довжинами 5м, 10м та 15м.

4. Провести розрахунок та аналіз похибки спаду напруги за виміряними значеннями спаду напруги для 40-а перших гармонік та імпульсних частот на низьковольтному плечі та на аналізаторі підключеному за допомогою кабелю довжинами 5м, 10м та 15м.

5. Розглянути аспекти маркетингового розвитку проведеного в роботі дослідження.

Об'єкт дослідження – вимірювання показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430.

Предмет дослідження – методика вимірювання показників якості електроенергії аналізатором ELSPEC G4430.

Методи досліджень. Використання інструкцій по вимірюванню показників якості електроенергії аналізатором ELSPEC G4430, чинного стандарту України ГОСТ 13109-97 та міжнародних стандартів, таких як EN 50160, IEC 61000.

Наукова-технічна новизна. Науково-технічна новизна роботи полягає в узгодженні аналізатора ELSPEC G4430 з низьковольтним плечем подільника напруги та особливості визначення показників якості електроенергії в схемі їх з'єднання.

Практична цінність. Процедура такого узгодження може бути використання для вимірювання показників якості електроенергії на високій напрузі.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідались і обговорювались на заліку з дисципліни «Науково-дослідна робота за темою магістерської дисертації» в грудні 2017 року та на заліку по переддипломній практиці у лютому 2018 року.

Публікації. Результати розробки магістерської дисертації викладено в двох наукових публікаціях:

1. Закревський Ю. С. “ POWER QUALITY PROBLEMS”/ Доповіді за матеріалами XVII всеукраїнської студентської науково-практичної конференції Science technology of the XXI century / Наука та техніка XXI століття. — Київ, 2017. — с.209.

2. Закревский Ю. С. “Использование анализатора ELSPEC G4430 для измерения показателей качества электроэнергии” / Публикация в е-журнале «Теория и практика современной науки» / №5(35). — Саратов, 2018.

Ключові слова: електроенергія, якість електроенергії, показники якості електроенергії, аналізатори, прилади контролю якості електроенергії, подільник напруги.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит страниц - 120, рисунков - 41, таблиц - 41.

Актуальность работы. Качество электрической энергии - является основным фактором, влияющим на надежность электроснабжения. Ухудшение качества электроэнергии негативным образом влияет на эффективность работы электрооборудования. Также, плохое качество электроэнергии, может привести к материальному ущербу, к необходимости ремонта электрооборудования, или, в худшем случае, к его полной замены.

Возникает необходимость применения специального оборудования - анализаторов для контроля состояния качества электроэнергии. Так как не все анализаторы пригодны для измерения показателей качества электроэнергии на высоком напряжении, поэтому возникает необходимость согласования анализатор качества электроэнергии с делителями напряжения.

Итак, измерения показателей качества электроэнергии на высоком напряжении с использованием анализатора ELSPEC G4430 и согласования его с низковольтным плечом делителя напряжения есть актуальным вопросам современной энергетики.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Магистерская диссертация выполнялась в соответствии с планом научно-исследовательских работ кафедры техники и электрофизики высоких напряжений Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».

Цель и задачи работы. Целью работы является измерение показателей качества электроэнергии на высоком напряжении с использованием анализатора ELSPEC G4430.

Для достижения поставленной цели в диссертации необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ литературных источников относительно существующих анализаторов качества электроэнергии. Осмотреть их характеристики, принцип действия и особенности применения.

2. Провести детальный обзор характеристик анализатора ELSPEC G4430 и сделать выводы относительно его преимуществ над анализаторами качества электроэнергии других ведущих производителей.

3. Составить схемы для согласования анализатора ELSPEC G4430 с низковольтным плечом делителя напряжения и провести измерения падения напряжения для первых 40-а гармоник и импульсных частот на низковольтном плече и на анализаторе подключенном с помощью кабеля длинами 5м, 10м и 15м.

4. Провести расчет и анализ погрешности падения напряжения по измеренным значениям падения напряжения для первых 40-а гармоник и импульсных частот на низковольтном плече и на анализаторе подключенном с помощью кабеля длинами 5м, 10м и 15м.

Объект исследования - измерение показателей качества электроэнергии на высоком напряжении с использованием анализатора ELSPEC G4430.

Предмет исследования - методика измерения показателей качества электроэнергии анализатор ELSPEC G4430.

Методы исследований. Использование инструкций по измерению показателей качества электроэнергии анализатором ELSPEC G4430, действующий стандарт Украины ГОСТ 13109-97 и международные стандарты, такие как EN 50160, IEC 61000.

Научно-техническая новизна. Научно-техническая новизна работы заключается в согласовании анализатора ELSPEC G4430 с низковольтным плечом делителя напряжения и особенности определения показателей качества электроэнергии в схеме их соединения.

Практическая ценность. Процедура такого согласования может быть использована для измерения показателей качества электроэнергии на высоком напряжении.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на зачете по дисциплине «Научно-исследовательская работа по теме магистерской диссертации» в декабре 2017 года и на зачете по преддипломной практике в феврале 2018 года.

Публикации. Результаты разработки магистерской диссертации изложены в двух научных публикациях:

1. Закревский Ю. С. "POWER QUALITY PROBLEMS" / Доклады по материалам XVII всеукраинской студенческой научно-практической конференции Science technology of the XXI century / Наука и техника XXI века. - Киев, 2017. - с.209.

2. Закревский Ю. С. “Использование анализатора ELSPEC G4430 для измерения показателей качества электроэнергии” / Публикация в е-журнале «Теория и практика современной науки» / №5(35). – Саратов, 2018.

Ключевые слова: электроэнергия, качество электроэнергии, показатели качества электроэнергии, анализаторы, приборы контроля качества электроэнергии, подельник напряжения.

ABSTRACT

The master's dissertation contains: pages - 120, drawings - 41, tables - 41.

Topic relevance. The quality of electric energy is a major factor that affects on the reliability of electricity supply. The deterioration of the quality of electricity negatively affects on the performance of electrical equipment. Also, poor quality electricity can cause material damage, can cause needs of repairing electrical equipment or, at worst, to its complete replacement.

There is a need of using such special equipment as analyzers, to monitor the quality of electricity. Because not all analyzers are suitable for power quality measurement at high voltage, so there is need of matching power quality analyzer with voltage divider.

Consequently, power quality indices measurement at high voltage using ELSPEC G4430 analyzer and match it with the low voltage shoulder of voltage divider is urgent issue of modern energy.

Thesis connection to scientific programs, plans, and topics. The thesis was prepared according to the scientific research plan of the High Voltage Technique and Electrophysics Department of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute.”

Research goal and objectives. The aim of the work is to measure power quality indices at high voltage using the ELSPEC G4430 analyzer.

The following objectives were set to reach this aim:

1. To conduct an analysis of literary sources regarding existing electricity quality analyzers. Review their characteristics, the principle of operation and application features.
2. To carry out a detailed overview of the characteristics of the ELSPEC G4430 Analyzer and draw conclusions about its advantages over the power quality analyzers of other leading manufacturers.

3. Draw up circuits for matching the ELSPEC G4430 analyzer with the low voltage shoulder of the voltage divider, and measure the voltage drop for the 40th first harmonics and pulsed frequencies on the low voltage shoulder and on the analyzer connected with a 5, 10 and 15 meter length cable.

4. Perform the calculation and analysis of the voltage drop error by using of measured voltage drop values for the 40th first harmonics and pulsed frequencies on the low voltage shoulder and on the analyzer connected with a 5m, 10m and 15m length cable.

5. Consider the aspects of marketing development conducted in the research.

Object of research is power quality indices measurement at high voltage using ELSPEC G4430 analyzer.

Subject of research is the method for measuring power quality indices using ELSPEC G4430 analyzer.

Methods of research. Use of instructions for measuring power quality indices using ELSPEC G4430 analyzer, use of the current standard of Ukraine GOST 13109-97 and international standards such as EN 50160, IEC 61000.

Scientific and technological innovation. Scientific and technological innovation of the work is matching the ELSPEC G4430 analyzer with the low voltage shoulder of voltage divider and the features of determining the power quality indices in the circuit of their connection.

Practical value of obtained results. The procedure of such matching can be used in measuring of power quality indices at high voltage.

Approbation of the results of the dissertation. The main results of the work were reported and discussed on the basis of the discipline " Scientific Research" in December 2017 and on the Scientific and Research Practice in February 2018.

Publications. The results of the master's dissertation development are presented in two scientific publications:

1. Zakrevskyi Y. “ POWER QUALITY PROBLEMS”/ Reports on the materials of the XVII All-Ukrainian Student Scientific and Practical Conference "Science technology of the XXI century". - Kyiv, 2017. – c.209.

2. Zakrevskyi Y. “ Using the ELSPEC G4430 Analyzer to Measure Power Quality” / Publication in the e-journal "Theory and practice of modern science" / № 5 (35). - Saratov, 2018.

Key words: electric power, power quality, power quality indices, analyzers, electric power quality control devices, voltage divider.

Зміст

Умовні позначення.....	15
Вступ.....	16
1. Аналітичний огляд аналізаторів якості електроенергії	
1.1 Загальні відомості про якість електричної енергії	17
1.2 Огляд засобів вимірювання показників якості електричної енергії.....	18
2. Характеристика приладу ELSPEC G4430	
2.1 Короткий опис аналізатору ELSPEC G4430.....	24
2.2 Основні характеристики аналізатору ELSPEC G4430.....	27
2.3 Використання аналізатора ELSPEC G4430 для виміру показників якості електроенергії	30
2.4 Схеми підключення аналізатора ELSPEC G4430.....	31
2.5 Налаштування системи та програмного забезпечення аналізатора ELSPEC G4430.....	37
2.6 Моніторинг на базі програмного забезпечення аналізатору ELSPEC G4430	41
3. Узгодження приладу ELSPEC G4430 з низьковольтним плечем подільника напруги	
3.1 Огляд низьковольтного плеча подільника напруги	54
3.2 Визначення спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 5м.....	60
3.3 Визначення спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 10м	70
3.4 Визначення спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 15м.....	77

4. Розрахунок похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 за допомогою ПЗ

4.1 Визначення похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 5м85

4.2 Визначення похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 10м.....92

4.3 Визначення похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 15м.....98

5. Стартап: комерціалізація вимірювання показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430

5.1 Опис ідеї проекту106

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту109

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту110

Висновки.....117

Список використаних джерел.....119

Умовні позначення

ЕЕ – електрична енергія;

ЗВ – засоби вимірювання;

ЯЕ – якість електроенергії;

ПЯЕ – показники якості електроенергії;

FTP - File Transfer Protocol, протокол передачі файлів;

HTTP - HyperText Transfer Protocol, протокол передачі гіпертексту;

PPP – point-to-point protocol;

ПЗ – програмне забезпечення;

ШПФ - Швидке перетворення Фур'є.

Вступ

Електрична енергія є ключовим елементом енергосистеми від якого напряму залежить робота енергосистеми та всіх об'єктів, які до неї підключені. У зв'язку з постійним оновленням та удосконаленням державних стандартів по вимірюванню показників якості електроенергії, зростають і вимоги до приладів, за допомогою яких безпосередньо і відбувається визначення цих показників.

Контроль за показниками якості електроенергії може бути як постійний, так і періодичний, що дозволяє контролювати стан електричного обладнання, його старіння. Як відомо невідповідність якості електроенергії нормованим значенням свідчить про погіршення умов експлуатації електрообладнання, що призводить до значних збитків. Крім того, споживачі також являються причиною неякісної електроенергії в мережі. Створюючи навантаження на мережу, споживачі погіршують якість електроенергії, яка потрапляє до інших споживачів.

Наразі на світовому ринку є великий асортимент приладів контролю якості електричної енергії, саме застосування таких аналізаторів дає можливість уникнути негативних наслідків, які може спричинити неякісна електрична енергія. Кожен з таких аналізаторів має свої габарити, характеристики, свої ступені захисту, що впливає на можливість їх застосування в різних кліматичних умовах. Аналізатори попередньо підлаштовують під вимірювання показників якості електроенергії у відповідності до діючих державних стандартів країни виробника та провідних країн світу. В даній роботі розглядається використання аналізатору ELSPEC G4430 для визначення показників якості електроенергії, а також дослідження узгодження даного аналізатора з низьковольтним плечем подільника напруги. Так як подібні узгодження не розглядались раніше, то це питання є актуальним.

1. Аналітичний огляд аналізаторів якості електроенергії

1.1 Загальні відомості про якість електричної енергії

На даний момент електрична енергія є одним з найбільш затребуваних продуктів на світовому ринку. ЕЕ знаходить своє застосування в усіх сферах життєдіяльності людини, їй властиві сукупність специфічних властивостей, які безпосередньо беруть участь в створенні інших видів продукції, що впливає безпосередньо на їх якість.

Якість електричної енергії загалом досить сильно впливає на роботу і ефективність функціонування електрообладнання. Якщо ж якість електричної енергії погіршується, то це призводить до певних збитків: збільшення втрат електроенергії, вихід з ладу електротехнічного обладнання, порушення роботи електротехніки, побутових приладів, приладів зв'язку та комунікацій, що також може призвести до змін технологічного процесу, зниження якості продукції, що виробляється, продуктивності праці робочого обладнання та інше. Слід також зазначити, що якість ЕЕ впливає безпосередньо на життя людини [1].

Контроль показників якості електроенергії дає змогу уникнути більшості негативних наслідків, пов'язаних зі втратами електричної енергії в обладнанні або в мережі споживання. Значення показників якості ЕЕ в електричних мережах визначають шляхом спеціалізованих вимірювань або розрахунком режимів роботи електричних мереж. Отримані таким чином значення показників якості ЕЕ зіставляють з допустимими значеннями, установленими в регламентах, стандартах, договорах та інших нормативно-правових документах [1].

Відхилення ж значень визначених показників якості ЕЕ від нормованих значень, які встановлені в державних стандартах та регламентах, може негативно вплинути в першу чергу на людину, на її здоров'я, або задати їй чималих матеріальних збитків.

Загалом зростає необхідність наявності приладу контролю показників якості електроенергії на підприємствах та організаціях, які виробляють та споживають ЕЕ.

Засоби вимірювання показників якості електричної енергії (ЗВ ПЯЕ) призначені для вимірювання, контролю та реєстрації основних і допоміжних параметрів електричної енергії, оцінки відповідності та аналізу показників якості електричної енергії в відповідності до державного стандарту ГОСТ 13109-97 [1].

1.2 Огляд засобів вимірювання показників якості електричної енергії

На світовому ринку існує безліч фірм, що випускають засоби вимірювання параметрів електроенергії, які ми можемо віднести до ПЯЕ. Сюди включаємо спеціалізовані мультиметри, спектроаналізатори, реєстратори, вимірювальні системи і багато іншого [2].

Деякі прилади можуть бути функціонально складними та недружелюбними до користувача. Зазвичай дуже складно знайти ідеальний прилад контролю ПЯЕ, який задовольняв би всі потреби, адже кожен із приладів має свої конструктивні або програмні недоліки.

Використання засобів вимірювання показників якості електроенергії дозволяють вирішувати основні задачі при інструментальному контролі ПЯЕ, основною метою якого є визначення показників у відповідності до вимог діючого державного стандарту ГОСТ 13109. Проте постійна модернізація апаратної та програмної частин приладів контролю показників якості електроенергії значно збільшує їх функціональність, що розширює можливості їх використання в електричних мережах, так як сучасна енергетика має тенденцію розвиватися, що висуває нові вимоги до моніторингу якості електроенергії, пов'язані з точністю їх виміру та обробки [2].

Розглянемо найбільш розповсюджені прилади контролю ПЯЕ:

- 1) Реєстратор показників якості електричної енергії «Парма РК3.02» (Рис.1.1)



Рис.1.1. Зовнішній вигляд реєстратора ПЯЕ «Парма РК3.02» [3].

Даний реєстратор призначений для вимірювання та реєстрації ПКЕ відповідно до вимог ГОСТ 13109-97 в електричних мережах систем електропостачання загального призначення змінного трифазного (трьох і чотирьох провідних мереж) і однофазного струму з номінальною частотою 50 Гц [3].

- 2) Мікропроцесорний реєстратор-аналізатор якості електричної енергії в 1-фазних та 3-фазних електричних мережах АКЕ-824 (Рис.1.2)



Рис.1.2. Зовнішній вигляд реєстратора ПЯЕ АКЕ-824 [4].

Даний аналізатор дозволяє проводити вимірювання в 1-но фазних та 3-х фазних мережах, дозволяє вимірювати параметри змінної напруги, струму, частоти, потужності, коефіцієнти потужності. Також пристрій дозволяє вимірювати короточасні імпульси напруг. Проте внутрішня пам'ять пристрою складає лише 15Мб, з можливістю розширення 512Мб картою пам'яті [4].

- 3) Fluke 1732 і 1734 реєстратори якості електроенергії для трифазної мережі (Рис.1.3)



Рис.1.3. Зовнішній вигляд реєстратора Fluke 1732 [5].

Даний аналізатор, як і попередні його аналоги, дозволяє вимірювати параметри на трьох фазах. Він має можливість зберігати більше 20-ти окремих сенсів. Має відносно зручний інтерфейс та дисплей. Налаштовується на місця. Також за допомогою власного програмного забезпечення дозволяє аналізувати звіти визначених характеристик [5].



Рис.1.4. Зовнішній вигляд реєстратора НІОКІ 3196 [6].
НІОКІ 3196 призначений для аналізу та контролю якості електроенергії, одночасно виконуючи функції аналізатора якості електроенергії, осцилографа, мультиметра і реєстратора. Вимірювання параметрів і збереження результатів відбуваються одночасно. Пам'ять приладу залежить безпосередньо від карти пам'яті, яку приєднують на 256 або 512Мб[6].

В джерелі [7] авторами було проведено вимірювання основних показників якості електроенергії, а також гармонічних складових струму і напруги за допомогою аналізатора якості електроенергії PM175 SATEC. Пристрій був налаштований на запис значень гармонічних складових струмів та напруги на кожній фазі з інтервалом часу 3 секунди. Були проведені виміри коефіцієнтів спотворень синусоїдальних кривих струму та напруги з інтервалом часу 1 хвилина. Всі вимірювання проводились у відповідності до діючого стандарту ГОСТ 13109.

В джерелі [8] авторами для вимірювання ПЯЕ була обрана підземна шахта по видобутку порід з вмістом алмазів. В роботі застосовувалась вимірювальна техніка на програмне забезпечення «Ресурс», до складу якого входить:

вимірювальні трансформатори напругу та струму, прилад контролю якості електроенергії та програмне забезпечення. Всі отримані дані вимірювалися з інтервалом в 1 секунду. Для отримання усереднених добових графіків з хвилинним інтервалом вимірювання використовувалась методика обробки та аналізу результатів програмного забезпечення «Ресурс» ЦБ2Р1ш.

В джерелі [9] авторами були розглянуті основні технічні характеристики і можливості приладів ПКК-57 і МЕТ-5080. Виміри в однофазних мережах проводились приладом МЕТ-5080, а в трифазних – приладом ПКК-57. З їх використанням, в якості аномалій реєструвались всі середньоквадратичні значення напруги, обчислювані кожні 10 мс, які знаходяться поза межами максимального і мінімального відхилення від рівня номінальної напруги .

В джерелі [10] автори проводили аналіза аналізатора якості електроенергії "Віном3". Розглядались його основні технічні характеристики та застосування. Прилад використовується з метою комерційного обліку, прилад надає повноцінну і вичерпну інформацію про якість електричної енергії, дозволяє здійснювати реєстрацію і запис процесів, а так само виробляти статистичну обробку отриманих даних. Результати статистичної обробки і вимірювань показників якості електроенергії знаходяться на вбудованому автономному сервері.

В джерелі [11] авторами було проведено виміри показників якості електроенергії з використанням мікро контролерів MSP430. Автори намагались показати, що не обов'язково використовувати дороге обладнання для контролю якості електроенергії. Проте використання такого обладнання має свої апаратні обмеження.

Висновки до розділу 1

1. Наразі є досить широкий вибір аналізаторів ЯЕ. Всі вони мають свої характеристики та конструктивні особливості, які в свою чергу можуть бути як і перевагами, так і недоліками. У зв'язку з постійним ростом вимог до ЯЕ спостерігається значне підвищення інтересу виробників до розробки нових та більш сучасних аналізаторів ЯЕ.

2. В даній роботі розглядається саме аналізатор ELSPEC G4430 з серії G4400, так як він увібрав в себе всі необхідні характеристики та відповідає всім сучасним вимогам, тому і вважається одним з кращих аналізаторів для контролю ЯЕ, а його програмне забезпечення робить його найбільш функціональним на фоні аналогів.

3. Для забезпечення високої точності вимірювання показників якості електроенергії у високовольтних мережах виникає необхідність узгодження аналізатора ELSPEC G4430 з подільником напруги, який має свої певні властивості.

2. Характеристика приладу ELSPEC G4430

2.1 Короткий опис аналізатору ELSPEC G4430

Аналізатор ELSPEC G4430 є одним із найсучасніших приладів, який дозволяє визначати необхідні показники якості електроенергії, що, у зв'язку з постійним ростом вимог якості електричної енергії, є досить важливим питанням сьогодення. Вирішення даного питання дозволить знайти найоптимальніші варіанти для забезпечення гідного рівня якості електричної енергії як для постачальників, так і для споживачів електричної енергії.

Вимірювання показників якості електричної енергії з використанням аналізатора ELSPEC G4430 проводяться у відповідності до чинного стандарту України ГОСТ 13109-97 та у відповідності до міжнародних стандартів, таких як EN 50160, IEC 61000-4-15, IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-30, ГОСТ Р 52323-2005.

Аналізатори ELSPEC G4430 використовують для досягнення наступних поставлених завдань [12]:

- 1) Енергоаудит споруд різного цільового призначення, від індивідуального житла, до промислових підприємств [12];
- 2) Сертифікація електричної енергії, електрообладнання та комплектуючих елементів [12];
- 3) Технологічний контроль та моніторинг якості електроенергії, пристроїв управління та регулювання [12];
- 4) Визначення показників якості електричної енергії з застосуванням мобільних лабораторій [12].

Аналізатор ELSPEC G4430 складається з наступних елементів [12]:

- Первинний перетворювач струму;
- Первинний перетворювач напруги;
- Мікропроцесор;
- Аналогово-цифровий перетворювач;

- Запам'ятовуючий пристрій, що програмується.

Аналізатор ELSPEC G4430 є однією з модифікацій аналізатору G4400, який відрізняється від інших модифікацій глибиною реєстрації параметрів електричної мережі та показників якості електричної енергії [12].

Даний аналізатор дає можливість підключатися безпосередньо до електричних мереж, напруга яких може сягати 1 кВ, а за допомогою масштабних перетворювачів – до високовольтних мереж [12].

Аналізатор необхідно встановлювати в контрольній точці енергосистеми, в якій будуть проводитись вимірювання показників якості електричної енергії. Аналізатор дає змогу регулярно проводити вимірювання та визначати параметри вхідного аналогового сигналу з дискретизацією 1024 рази за період мережі, тобто 20 мс, що задовольняє вимоги ГОСТ 13109. Даний аналізатор можна підключати до ПК, задля більш комфортного перегляду та аналізу записаних ним даних. Слід зазначити, що приєднаний до ПК прилад дозволяє в режимі онлайн спостерігати за параметрами якості електроенергії [13].

Вимірювальний прилад складається з трьох модулів (Рис.2.1), які заздалегідь скріплюються в заводських умовах та не можуть бути роз'єднані далі.

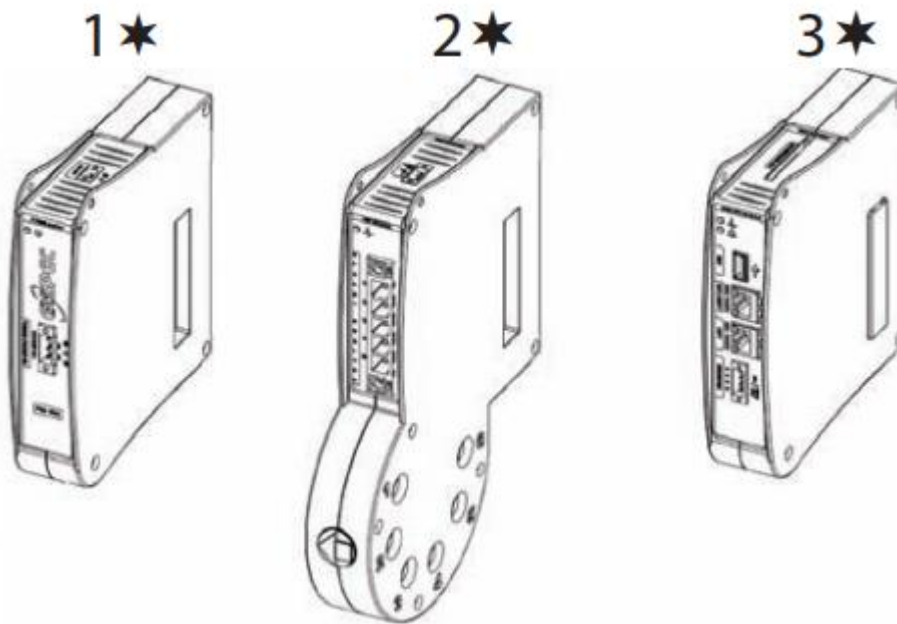


Рис.2.1. Модулі ELSPEC G4K [13].

На рисунку 2.1 зображені наступні модулі [13]:

- 1) Модуль джерела електроживлення – який забезпечує перетворення напруги живлення [13];
- 2) Модуль дискретизації – який дозволяє перетворювати аналогові сигнали на цифрові, для подальшої їх обробки та зберігання [13];
- 3) Модуль центральної переробки – даний модуль виконує такі функції, як зберігання, обробка виміряних величин та їх передача [13].

Можна зробити висновок, що даний аналізатор має досить надійне та функціональне компонування, з можливістю встановлення як на звичайній плоскій панелі так і на DIN-рейці. Для посиленого захисту від зовнішніх впливів, аналізатор можна помістити в шафу із ступенем захисту IP65. Підключення допоміжних модулів робить даний аналізатор більш варіативним та зручним для вимірювання показників. Окрім того, даний аналізатор можна налаштовувати за допомогою персонального комп'ютера з операційною системою Microsoft Windows.

2.2 Основні характеристики аналізатору ELSPEC G4430

До основних технічних характеристик аналізатору ELSPEC G4430 можна віднести наступні [12]:

- 1) Номінальне діюче значення величини змінної фазної або міжфазної напруги U_H в діапазоні від 0 до 1 кВ, та для короткочасного імпульсу від 0 до 8 кВ відповідно [12];
- 2) Номінальне діюче значення величини змінного струму I_H в діапазоні від 0 до 50 А. Дані величини відповідають номінальним значенням первинних перетворювачів струму [12];
- 3) Значення напруги мережі для живлення приладу, відповідає наступним: 85-260VAC, 110-300VDC, 48VDC [12];
- 4) Значення номінальної частоти в діапазоні від 47 до 63 Гц [12];
- 5) Значення споживаної потужності по ланцюгу як змінного, так і постійного струму не повинне перевищувати 10 ВА [12];
- 6) Ступінь захисту корпусу аналізатора – IP30 [12].

Окрім технічних характеристик, даний аналізатор має перелік метрологічних характеристик. В даному переліку вказані всі допустимі похибки вимірів для значень напруги, струму та потужності. Також слід зазначити, що всі виміри бажано проводити за температури навколишнього повітря +20..+26 градусів, в інших випадках значення похибки може збільшуватись [12].

До переліку основних метрологічних характеристик аналізатору ELSPEC G4430 відносять наступні [12]:

- 1) Діюче середньоквадратичне значення змінної напруги в наступних діапазонах [12]:
 - від 0 до 60 В межі допустимої відносної похибки складають $\pm [0.1+0.01((230[V]/U)-1)]\%$;
 - від 60 В до 1,6 кВ межі допустимої відносної похибки складають \pm

0,1%;

- від 1,6 кВ до 8 кВ межі допустимої відносної похибки складають $\pm 0,5\%$.

Значення похибки виміру показників змінної напруги знаходяться в інтервалі, прописаному в діючому державному стандарті ГОСТ 13109.

- 2) Діюче середньоквадратичне значення змінного струму в наступних діапазонах [12]:
 - від 0 до 0,2 А межі допустимої відносної похибки складають $\pm [0,1 + 0,01((10[A]/I) - 1)]\%$;
 - від 0,2 А до 10 А межі допустимої відносної похибки складають $\pm 0,1\%$;
 - від 10 А до 50 А межі допустимої відносної похибки складають $\pm 0,2\%$.
- 3) Значення частоти змінного струму в діапазоні від 45 до 64 Гц. Межі допустимої абсолютної похибки складають $\pm 0,01$ Гц [12]. Величина похибки визначення частоти змінного струму є досить низькою та повністю відповідає вимогам діючого державного стандарту ГОСТ 13109, в якому прописані межі допустимої похибки $\pm 0,03$ Гц [14].
- 4) Значення коефіцієнту потужності K_p в діапазоні від -1,0 до +1,0 в.о.. Межі допустимої абсолютної похибки складають $\pm 0,02$ [12].
Дане значення повністю задовольняє вимоги міжнародного стандарту ІЕС 61000-4-30.
- 5) Значення коефіцієнту n-ої гармонічної складової напруги $K_{U(n)}$, при $n=2..40$ в діапазоні від 0 до 49,9%. Межі допустимої абсолютної похибки складають $\pm 0,1\% * K_{U(1)}$, при виконанні умови $K_{U(n)} \geq 5\% K_{U(1)}$, а межі допустимої відносної похибки складають $\pm 5\% * K_{U(1)}$, при виконанні умови $K_{U(n)} < 5\% K_{U(1)}$ [12].
Дане значення похибки задовольняє вимоги, прописані в

державному стандарті ГОСТ 13109 та міжнародному стандарті ІЕС 61000-4-30.

- 6) Значення коефіцієнту n -ої гармонічної складової струму $K_{I(n)}$, при $n=2..40$ в діапазоні від 0 до 49,9%. Межі допустимої абсолютної похибки складають $\pm 0,1\% * K_{I(1)}$, при виконанні умови $K_{U(n)} \geq 5\% K_{I(1)}$, а межі допустимої відносної похибки складають $\pm 5\% * K_{I(1)}$, при виконанні умови $K_{U(n)} < 5\% K_{I(1)}$ [12].

Дане значення похибки задовольняє вимоги, прописані в міжнародному стандарті ІЕС 61000-4-30.

- 7) Значення активної потужності P_n n -ої гармоніки, при $n=1..40$ в діапазоні від $0,003 P_n$ до $0,1 P_n$. Межі похибки складають $\pm 5,0\%$ [12].

Дане значення похибки задовольняє вимоги, прописані в міжнародному стандарті ІЕС 61000-4-30.

- 8) Значення асиметрії напруги в зворотній послідовності в діапазоні 0-1500 В. Межі абсолютної похибки складають $\pm 0,1\%$ [12].

Дане значення абсолютної похибки є досить низьким, що повністю задовольняє вимоги прописані в державному стандарті ГОСТ 13109, де значення похибки в межі $\pm 0,3\%$ [14].

- 9) Значення асиметрії струму в зворотній послідовності в діапазоні 0-50 А. Межі абсолютної похибки складають $\pm 0,1\%$ [12]. Значення похибки задовольняє вимоги міжнародного стандарту ІЕС 61000-4-30.

Такі величини, як активна, реактивна та повна потужність можливо також розглядати у відповідності до стандартів ГОСТ Р 52320-2005, ГОСТ Р 52323-2005. Відповідно клас точності приймає значення 0,2S [15].

Можна зробити висновок, що аналізатор ELSPEC G4430 є досить точним пристроєм, який повністю задовольняє вимоги прописані в міжнародному стандарті ІЕС 61000-4-30 class A. Щодо державного стандарту ГОСТ 13109, то

даний аналізатор не лише задовольняє вимогам, прописаним у стандарті, а в деяких випадках показує похибку, яка в декілька разів менша, ніж та, яку вимагає стандарт.

2.3 Використання аналізатора ELSPEC G4430 для виміру показників якості електроенергії

Компонентне та програмне забезпечення аналізатора ELSPEC G4430 робить його дуже зручним у використанні. Є декілька варіантів підключення даного аналізатора до мережі живлення. Рекомендованим є підключення до мережі змінного струму напруги 100-230 В та частоти 60/50 Гц. Також прилад можна підключати до мережі постійного струму з рекомендованою напругою 48 В. та використовувати PoE підключення, тобто живлення по інтернету, з використанням кабелю мережі RJ45, що і є третім варіантом живлення аналізатора. Цей варіант виключає необхідність додаткового зовнішнього живлення [13].

Аналізатор ELSPEC G4430 має вбудований вміст пам'яті об'ємом до 16ГБ, що дозволяє зберігати та використовувати всі виміряні величини та показники на протязі одного року [12].

Для більш комфортної передачі даних, аналізатор обладнаний USB-портом, роз'ємом для GPS Compact Flash (GPS приймач з інтерфейсом Compact Flash) та можливістю підключення зовнішнього GSM модему. Окрім того, аналізатор має власний вбудований ВЕБ- та OPC- сервери, а також 2 порти RJ45, що в свою чергу покращує автоматизацію приладу [12].

Даний аналізатор дозволяє вимірювати наступні величини і показники[12]:

- 1) Дійсні значення фазних та міжфазних напруг [12]. Величини напруг вимірюються у відповідності до діючого державного стандарту ГОСТ 13109 та міжнародного стандарту IEC 61000-4-30;
- 2) Дійсні значення фазних струмів [12];

- 3) Коефіцієнти потужності по фазам [12];
- 4) Активну, реактивну та повну потужності по фазах [12];
- 5) Значення частоти, у відповідності до діючого стандарту ГОСТ 13109 та IEC 61000-4-30 [12];
- 6) Зміну дози флікера, як короткочасну, так і довготривалу [12]. Дані величини вимірюються у відповідності до діючого державного стандарту ГОСТ 13109 та міжнародного стандарту IEC 61000-4-30;
- 7) Зміну інтергармонік [12].

2.4 Схеми підключення аналізатора ELSPEC G4430

До переваг аналізатору можна в першу чергу віднести приєднання напруги живлення за допомогою роз'єму термінального блоку напруги [12]. Живлення приладу також може здійснюватись від мережі, в якій відбуваються вимірювання (Рис.2.2). При перериванні живлення в такому варіанті, після вичерпання заряду вбудованого акумулятора прилад припинить запис даних до моменту відновлення напруги, внаслідок чого може не записати комутаційні перехідні процеси відновлення вимірюваних напруги та струму.

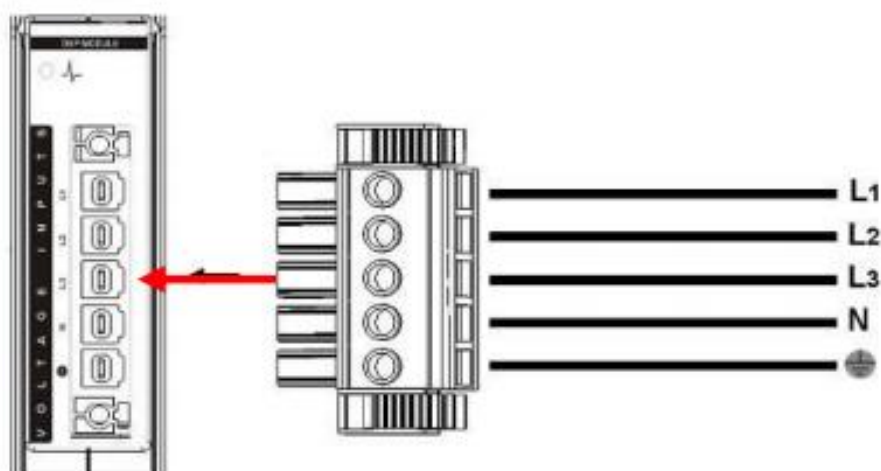


Рис.2.2. Зображення термінального блоку напруги [12].

На рисунку можна побачити необхідні виходи під кожну з фаз, нейтраль та заземлення. Слід також зазначити, що кожен вихід може приймати сигнал змінного струму напругою до 1 кВ у режимі вимірювання та короткочасний імпульс напругою до 8кВ також у режимі вимірювання.

Наступною перевагою є підключення струмових кіл за схемою вимірювання показників якості електроенергії. Струм можна вимірювати пофазно, завдяки вбудованому трансформатору струму в одному з модулів аналізатора. В даному випадку трансформація струму може бути окремою в кожній фазі, тому що струм протікає через отвори в круговій секції центрального модуля DSP (Рис.2.3) [12].

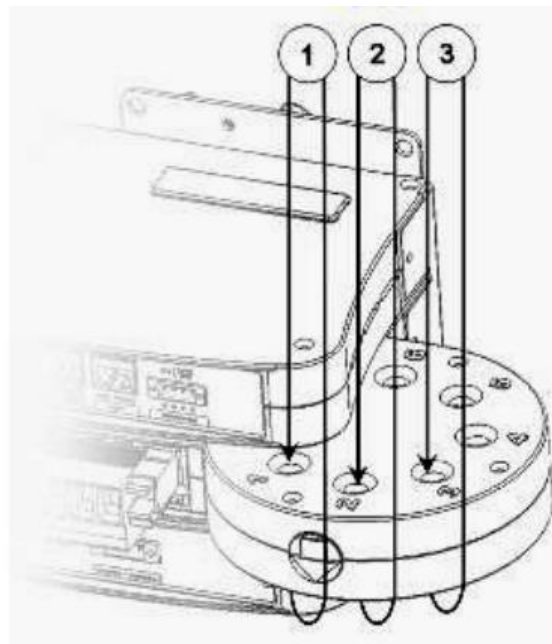


Рис.2.3. Вимірювання струму [12].

Даний аналізатор має в цілому 6 комірок для виміру струму, але зазвичай застосовуються лише 4 із них: по одній на кожну фазу та нейтраль [12].

Далі розглянемо конфігурації підключення даного аналізатора [12]:

- 1) Перший варіант підключення – підключення до мережі низької напруги (менше 600В) [12]. Таке підключення (з використанням 4-х кабелів) вимагає наявності 3-х трансформаторів струму, а також можливість

встановлення 4-го трансформатора струму на нейтраль. Для даної конфігурації з'єднання напруги є прямим (Рис.2.4);

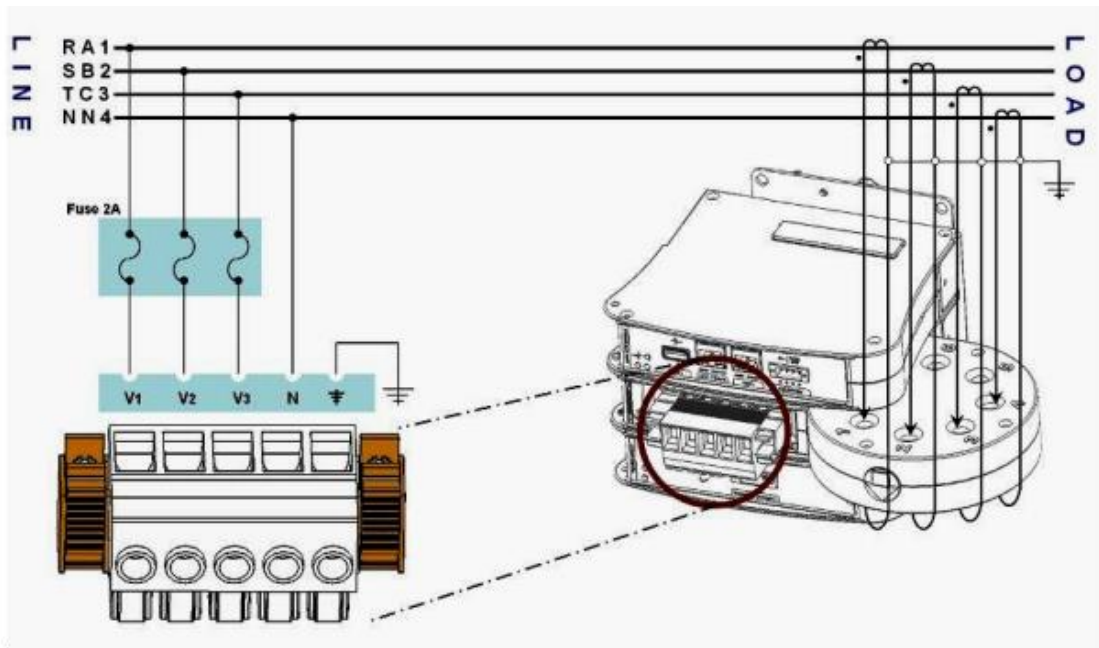


Рис.2.4. Схема підключення до мережі низької напруги [12].

- 2) Другий варіант – підключення до мережі середньої або високої напруги [12]. Даний варіант (з використанням 4-х кабелів) потребує 3 перетворювальні трансформатори напруги, або інші масштабні перетворювачі напруги, 3 трансформатори струму та можливість підключення 4-го на нейтраль (Рис.2.5);

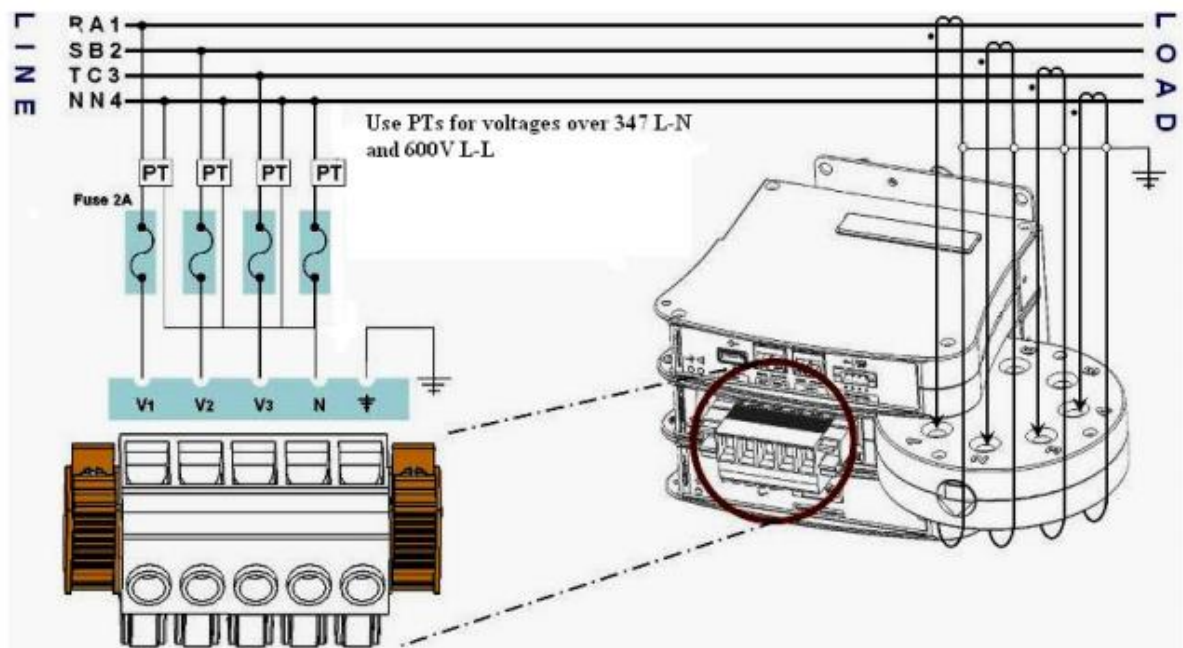


Рис.2.5. Схема підключення до мережі високої напруги [12].

3) Третій варіант підключення – підключення з спільним заземленням (з використанням 3-х кабелів) [12]. В даному випадку об'єкт може бути підключеним безпосередньо без використання перетворюючих трансформаторів в схемі (Рис.2.6);

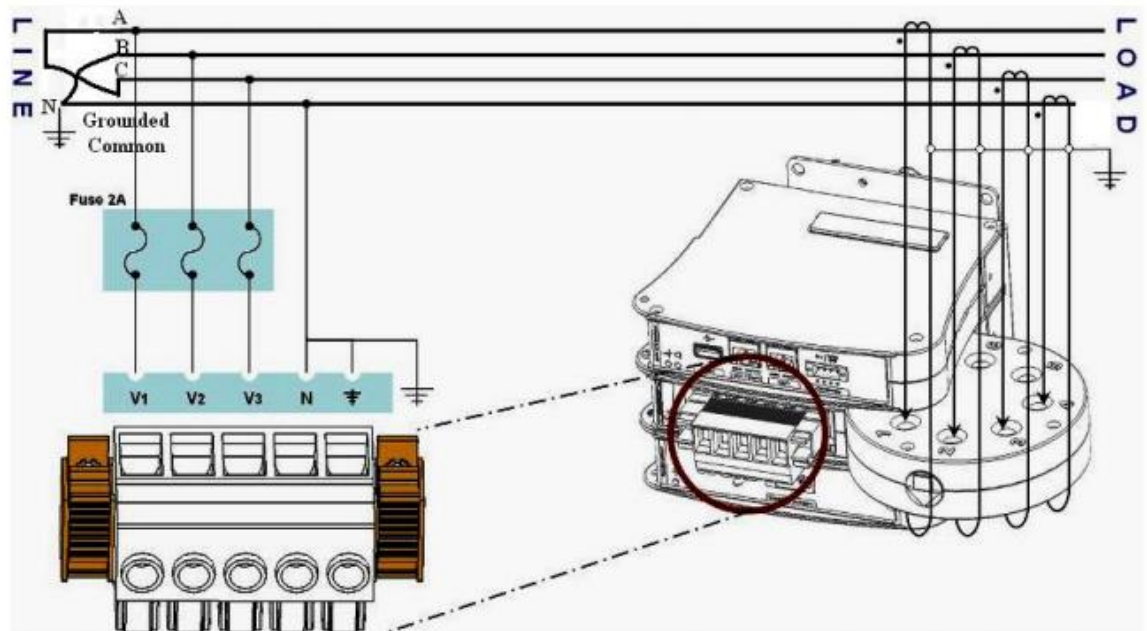


Рис.2.6. Схема підключення з спільним заземленням [12].

- 4) Варіант підключення до мережі низької напруги (менше 600В) з заземленням вводу нейтралі [12]. Підключення відбувається 3-ма кабелями, з використанням 3-х трансформаторів струму в схемі (Рис.2.7);

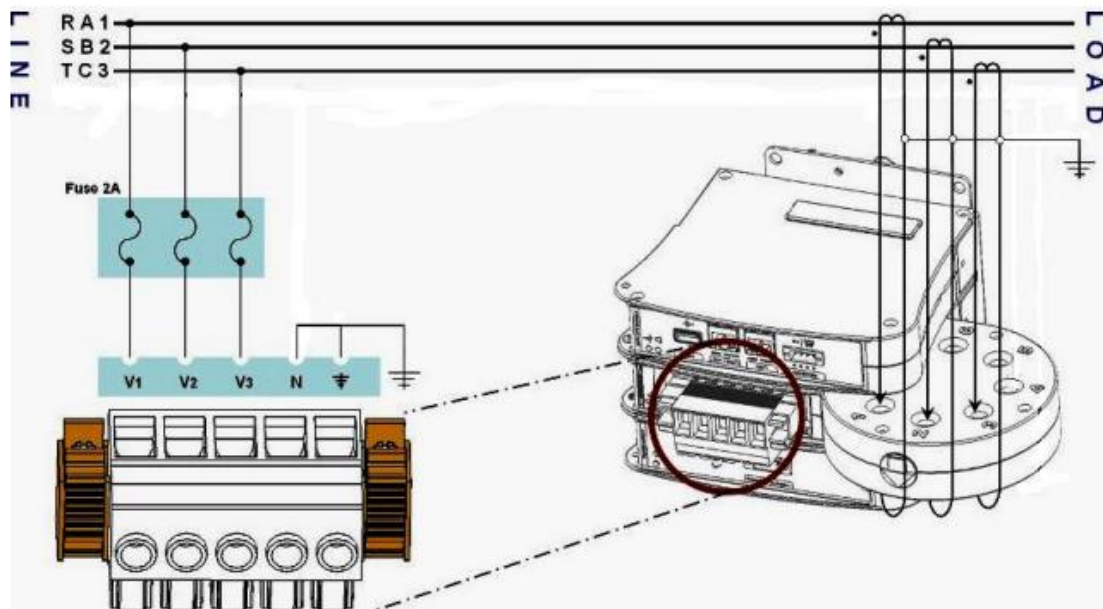


Рис.2.7.Схема підключення до мережі низької напруги з заземленою нейтраллю [12].

- 5) Варіант підключення до мережі високої напруги з заземленням вводу нейтралі [12]. Підключення відбувається 3-ма кабелями, з використанням 3-х трансформаторів струму та 3-х перетворювальних трансформаторів в схемі (Рис.2.8);

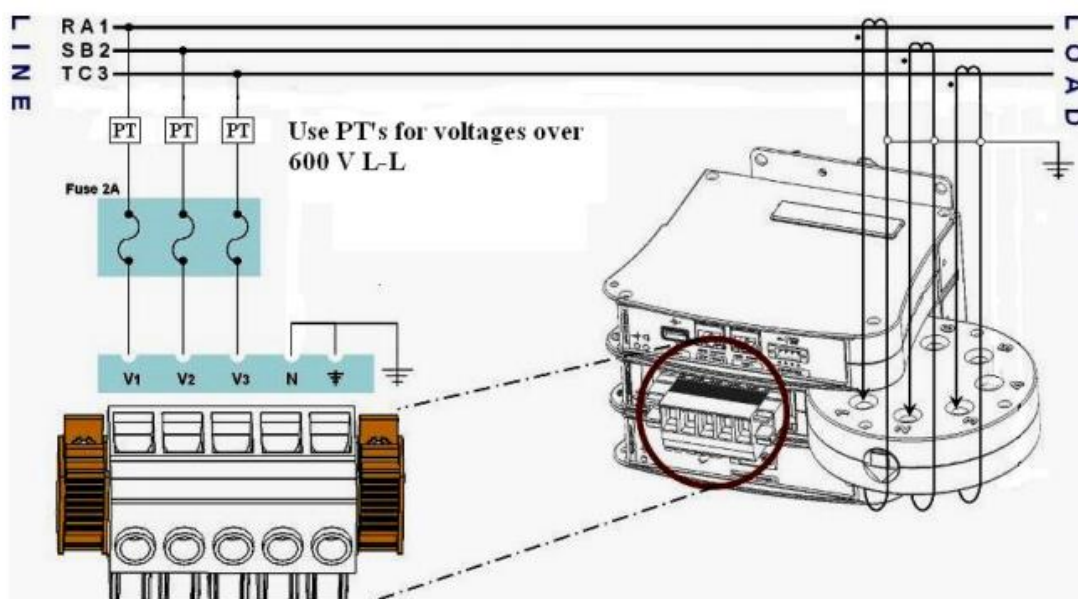


Рис.2.8.Схема підключення до мережі високої напруги з заземленою нейтраллю [12].

б) Двофазне підключення (Рис.2.9).

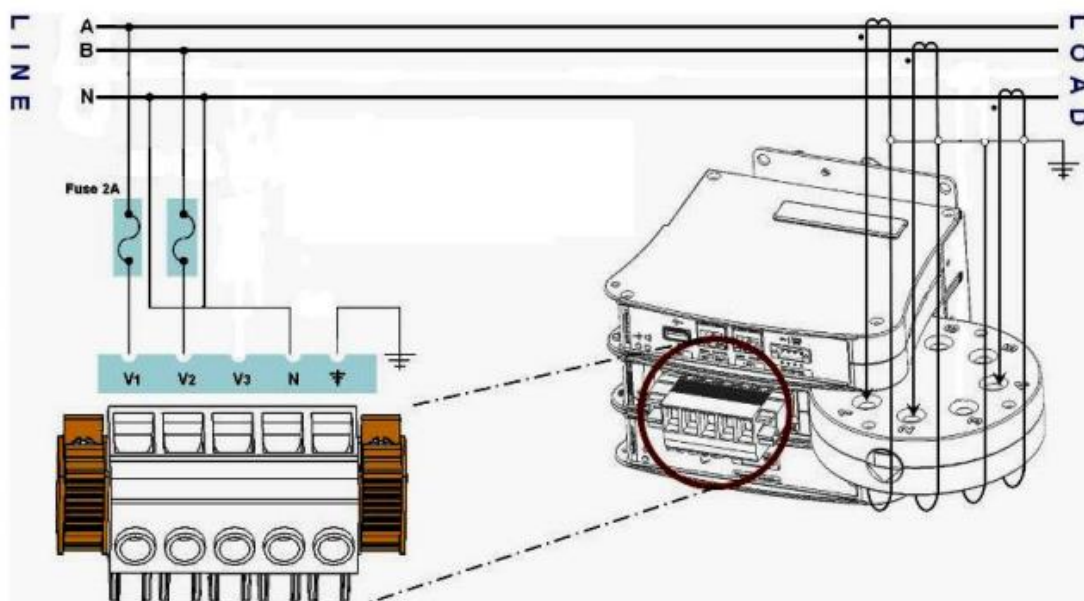


Рис.2.9.Схема двофазного підключення до мережі [12].

Отже можемо зробити висновок, що за допомогою даних варіантів підключення ми можемо вимірювати показники якості електроенергії для будь-яких можливих енергетичних об'єктів на території України. Адже даний аналізатор має можливість підключення як на низьку напругу, так і на високу.

Окрім того він має можливість приєднання вихідних кіл трансформаторів як з вхідними фазними, так і з лінійними напругами а також має можливість застосування в колі подільників напруги за схемами з використанням однофазних трансформаторів напруги.

2.5 Налаштування системи та програмного забезпечення аналізатора ELSPEC G4430

Як нам відомо з підрозділу 2.1, аналізатор ELSPEC G4430 – досить універсальний прилад, що має свій вбудований веб-сервер та здатний робити виміри показників вхідного сигналу напруги 1024 рази на період [13].

Даний аналізатор має свою запатентовану технологію архівації PQZip, яка відповідає за збереження та передачу інформації на менеджер сайтів PQSCADA. Даний менеджер сайтів в свою чергу відповідає за створення та управління вузлами, які збирають, зберігають та аналізують стиснуті дані з аналізаторів. Такий функціонал дозволяє дуже точно аналізувати будь-які показники якості енергії в будь-який момент часу [12].

Роботу з аналізатором ELSPEC G4430 можна розбити на 3 основні пункти (Рис.2.10) : моніторинг, підключення та аналіз [12].

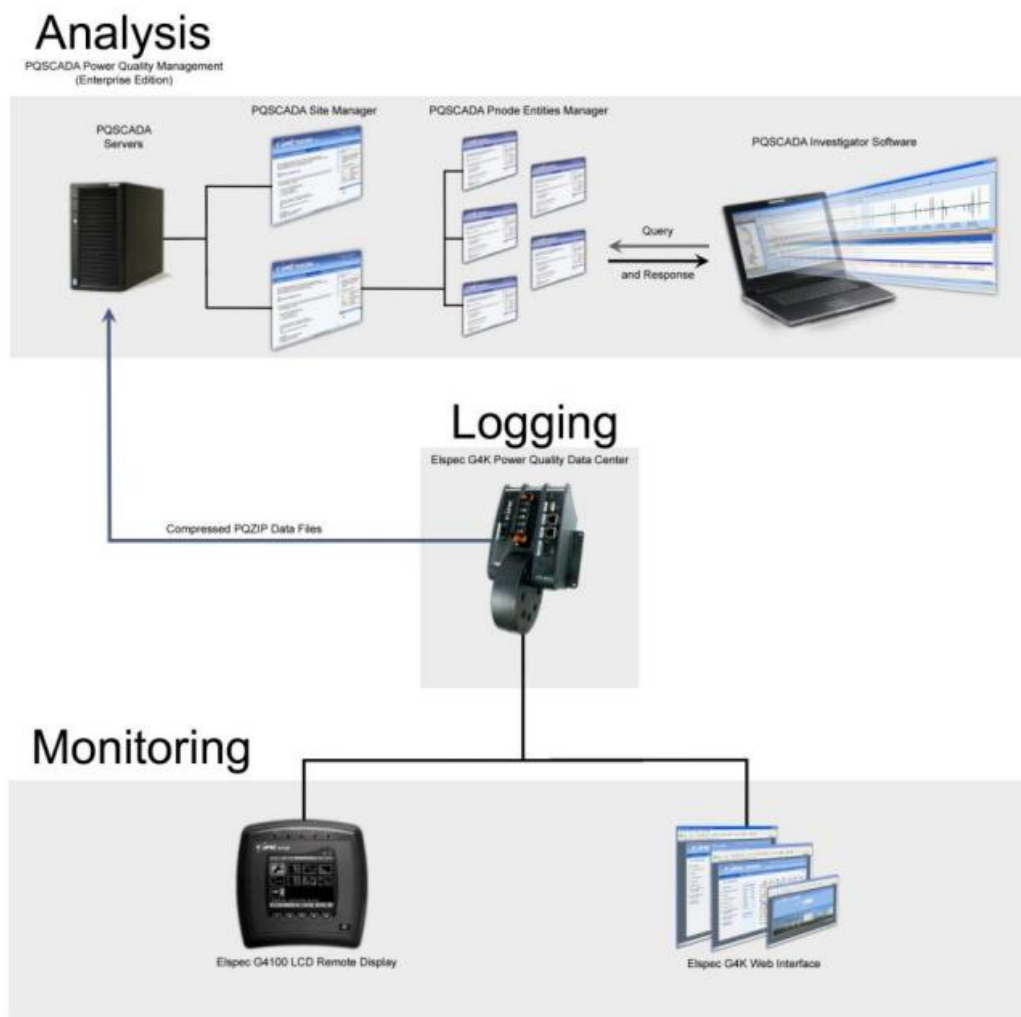


Рис.2.10.Зображення схеми роботи з аналізатором ELSPEC G4430 [12].

Для підключення аналізатору до персонального комп'ютеру можливо використовувати LAN-порт та автоматичну пошукову утиліту Elspec Search, адже це найбільш надійний спосіб застосування. Дана утиліта допоможе налаштувати підключення та налаштувати IP-адресу. Після чого в браузері необхідно в адресному рядку ввести «169.254.249.247/» та натиснути клавішу Enter. Ви потрапляєте на веб-сторінку Blackbox на якій буде проходити ваша подальша робота з аналізатором. Також за відсутності радіозавад можна встановити радіо модуль, що дозволить віддалено керувати пристроєм, що є беззаперечною перевагою даного приладу. Окрім того можливо встановити модуль з оптичним портом і за допомогою оптичного кабелю можна керувати аналізатором на досить великій відстані, до декількох кілометрів [12].

На головній веб-сторінці, яку генерує сервер, нам дають можливість вибору мови, для подальшої зручності в використанні. Пароль для авторизації – 12345. Після авторизації ми переходимо до основного меню [12].

З сервісного меню ми можемо перейти до віконця налаштувань, яке має досить широкі можливості налаштування.

Детальні налаштування аналізатора можна розбити на наступні частини [12]:

- 1) Налаштування пристрою [12]. За допомогою даного пункту ми можемо змінювати назву сайту, опис пристрою, ім'я оператора, назву компанії, встановлювати пароль, дату та час;
- 2) Налаштування мережі [12]. За допомогою даного пункту ми можемо коригувати IP адресу, основну та резервну, задавати DNS шлюз, порт та дані для авторизації. Ці налаштування можна встановлювати як автоматично, так і вручну;
- 3) Налаштування живлення приладу та вимірювань [12]. За допомогою даного пункту ми можемо налаштовувати параметри системи, вибирати необхідний нам варіант підключення до мережі, номінальні значення напруги, струму та частоти, полярність, встановлювати інтервали вимірювань;
- 4) Налаштування подій [12]. На даному етапі ми можемо визначати необхідні нам події(записи системи). Кожну подію можна прив'язати до необхідної нам установки. Можливий вигляд налаштування подій показаний на рисунку 2.11.

Setup

Unit Setup

Network Setup

Power Setup

Events Setup

Display Setup

RS-485/422

Firmware Upgrade

PPP Setup

Diagnostics

System Log

Network Status

Power Status

PQZIP Status

GPS Module

E-mail Alerts

Apply changes

Refresh data

New Event

Events List

Preset: Preset 2

User Defined

Preset 1

Preset 2

Code	Description	
230	$dF/dt[0.2s]>0.200\%$, H:1s	0
231	$dV_{xx}/dt[1cy]>5.000\%$, H:1s	0
232	$dV_{xx}/dt[1cy]>3.000\%$, H:1s	0
201	CARD1 DI1 0==>1==>0	0
202	CARD1 DI2 0==>1==>0	0
203	CARD1 DI3 0==>1==>0	0
204	CARD1 DI4 0==>1==>0	0
205	CARD1 DI5 0==>1==>0	0
206	CARD1 DI6 0==>1==>0	0
207	CARD1 DI7 0==>1==>0	0
208	CARD1 DI8 0==>1==>0	0

Fault Recording Configuration

Frequency Delta (%)	Voltage Delta (%)	Phase Delta (%)
0.2	5	3

Рис.2.11. Налаштування подій [12].

Користувач може повністю визначати події, а також отримувати сповіщення про події на аналізаторі. Кожна окрема подія має свій рядок та унікальний код, який вибирає сама система;

- 5) Налаштування дисплею [12]. За допомогою даного пункту ми можемо налаштовувати дисплей для більш зручного перегляду необхідних нам параметрів;
- 6) Налаштування параметрів інтерфейсу RS485/422 [12]. На даному етапі ми можемо налаштовувати бітрейт, задавати кількість бітів, налаштовувати потік та серійну модель;
- 7) Оновлення прошивки [12]. Оновити прошивку можна двома шляхами: оновлення через FTP, або оновлення через HTTP;
- 8) Налаштування PPP [12]. На даному етапі ми можемо налаштовувати параметри протоколу Point-to-Point;

- 9) Налаштування PQZip [12]. Після налаштування основних елементів системи необхідно запустити PQZip. Цей алгоритм буде постійно записувати сигнали напруги та струму та буде стискати їх до заданого відсоткового співвідношення.

Можна зробити стислий висновок, що даний аналізатор оснащений сучасним програмним забезпеченням, що дозволяє досить широко налаштовувати пристрій під необхідні нам вимоги, наприклад, під вимоги державного стандарту ГОСТ 13109. Дане ПЗ є досить варіативним та простим у використанні. Це також дозволяє нам автоматизувати необхідні нам процеси, наприклад визначення необхідних показників в потрібні нам моменти часу. Ми можемо налаштовувати та регулювати мінімальні та максимальні значення таких параметрів як струм, напруга, потужність, частота, гармоніки, тощо. Крім того, пристрій не лише фіксує самі параметри, але і архівує та зберігає їх для подальшого використання, а також повідомляє користувача про готовність.

2.6 Моніторинг на базі програмного забезпечення аналізатору ELSPEC G4430

Однією з основних функцій аналізатору ELSPEC G4430 є моніторинг. В наш час моніторинг показників якості електроенергії є дуже важливим, адже вимоги до якості електроенергії зростають з кожним днем.

Так як даний аналізатор є досить функціональним, параметри якості електроенергії визначаються ним двома методами [12]:

1) Цикл за циклом. В даному методі використовується максимальна вибірка на цикл для розрахунку параметрів. ШПФ спектр розраховується за частоти 50/60 Гц [12];

2) Метод за стандартом ІЕС 6100-4-30. В даному методі максимальна вибірка розподіляється на 10-12 циклів з розподільчою системою в 50/60 Гц. ШПФ спектр за такої методики розраховується в кратному значенні 5 Гц [12].

Як вже згадувалось в попередніх розділах, функціонал даного аналізатора досить широкий і бере початок він з виміру основних показників, таких як [12]:

- 1)Частота, а саме число циклів за секунду [12];
- 2)Фазний та міжфазний струми, для 3-хфазної системи [12];
- 3)Аналогічно, фазну та міжфазну напруги, для 3-хфазної системи [12];
- 4)Загальну потужність [12];

Також до переваг даного аналізатору можна віднести можливість синхронізуватись за часом. За дану функцію відповідає окремий прилад, який власне і синхронізує аналізатор з світовим часом. Така функція є дуже важливою для роботи з файлами PQZip.

2.6.1. Визначення напруги та струму за допомогою аналізатора ELSPEC G4430

Як зазначено в пункті 2.6, аналізатор дозволяє визначати фазні та міжфазні напругу на струм для 3-хфазної системи. Загалом ці параметри залежать від конфігурацій потужності, які користувач налаштовує за допомогою пункту «Налаштування» в програмному забезпеченні аналізатора.

Аналізатор дозволяє розглядати визначені параметри або в відповідності до стандарту ІЕС 61000-4-30, або в відповідності до методу «Цикл за циклом» [12]. Тобто користувач сам вказує метод, за яким будуть вказані параметри, що також можна віднести до переваг аналізатора.

На цьому етапі ми можемо отримати розраховані величини, серед яких [12]:

1)Середньоквадратичне значення напруги або струму відповідно [12]. Цей параметр розраховується за формулою 1 [12], як суму перших 40-а гармонік:

$$x_{RMS} = \sqrt{\sum_{n=1}^N h_n^2} \quad (1);$$

де N – номер гармонік;

h – значення вимірюваної напруги або струму;

2)Мінімальне середньоквадратичне значення напруги та струму відповідно [12];

3)Максимальне середньоквадратичне значення напруги та струму відповідно [12];

4)Сумарний коефіцієнт гармонічних складових, що визначається за формулою 2 [12] для 40-а гармонік:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N h_n^2}}{h_1^2} (2);$$

де N – номер гармонік;

h – значення вимірюваної напруги або струму;

5)Коефіцієнт амплітуди, що визначається за формулою 3 [12], де пікове значення розділяється на середньоквадратичне:

$$CrestFactor = \frac{x_{peak}}{x_{RMS}} (3);$$

де x_{peak} – максимальне значення напруги або струму;

x_{RMS} – середньоквадратичне значення напруги або струму;

6)К-фактор, який описує нелінійність навантаження, тобто кількість гармонічних розбіжностей. Визначається за формулою 4 [12]:

$$K = \frac{\sum_1^{25} i_n^2 h^2}{\sum_1^{25} i_n^2} (4);$$

де n – номер гармонік;

h – значення вимірюваної напруги або струму;

7)Позначка флангу, вказує чи відповідні визначені параметри не виходять за зазначені межі. Якщо бачимо напис «Не позначено», то параметри в допустимих межах, якщо ж бачимо напис «Позначено», то відповідно робимо висновок, що значення вийшло за свої межі та не відображається. Вказані межі вказують на переривання напруги, падіння або стрибки [12];

8)Середні значення, які визначають на кожній 3-й секундї, 10-їй хвилині та 2-їй годині в відповідності до вимог стандарту ІЕС 61000-4-30 [12];

9)Значення небалансу, яке визначається між фазами у відповідності до стандарту ІЕС 61000-4-30 [12].

Програмне забезпечення також дозволяє скинути всі визначенні дані за допомогою окремої клавіші «Скидання».

2.6.2. Визначення потужності за допомогою аналізатора ELSPEC G4430

Так само, як напругу і струм, аналізатор дозволяє визначати параметри електричної потужності. Ці параметри також визначаються двома методами, зазначеними в пункті 5.

На цьому етапі ми можемо отримати наступні розраховані параметри потужності [12]:

1)Активна потужність, а точніше її кількість, що споживається у виді корисної енергії. Аналізатор дозволяє точно розрахувати цю величину, за формулою (5) [12], для 40-а гармонік (Вт):

$$P = \frac{1}{2} \sum_i V_{i,j} * I_{i,j} * \cos \theta_{i,j} \quad (5);$$

де $V_{i,j}$ – величина напруги;

$I_{i,j}$ – величина струму;

$\cos \theta_{i,j}$ – косинус кута між ними;

2) Реактивна потужність, яка розраховується за формулою (6) [12]:

$$Q = -Pq = -|V||I|\sin\theta \xrightarrow[-V]{I} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ V_x & V_y & 0 \\ I_x & I_y & 0 \end{vmatrix} = \hat{k}(-V_x I_y + V_y I_x) \quad (6);$$

де V – вектор напруги;

I – вектор струму;

$\sin\theta$ – синус кута між ними;

3) Повна потужність, що визначається за формулою (7) [12]:

$$S = V_{RMS} + I_{RMS} \quad (7);$$

де V_{RMS} – середньоквадратичне значення напруги;

I_{RMS} – середньоквадратичне значення струму;

4) Дійсний коефіцієнт потужності, що визначається за формулою (8) [12], для 40-а гармонік:

$$PF_{True} = \frac{\sum P}{\sqrt{\sum P^2 + \sum Q^2}} \quad (8);$$

де P – активна потужність;

Q – реактивна потужність;

5) Коефіцієнт зміщення потужності, що визначається за формулою (9) [12]:

$$PF_{Disp} = \frac{P_{H1}}{S_{H1}} \quad (9);$$

де P – активна потужність;

S – повна потужність;

Отримані значення також можна скинути до значень за замовченням за допомогою окремої клавіші.

2.6.3. Визначення температури за допомогою аналізатора ELSPEC G4430

Перш за все слід зазначити, що температура навколишнього середовища є досить важливим параметром під час використання будь-якого електричного обладнання. Зміни температури можуть значно вплинути на точність роботи приладів, тому це значення необхідно постійно контролювати та за можливості регулювати. Також високі температури можуть бути критичними для де-яких приладів, а саме таких, яким властиві нагріви під час роботи. Тому високі температури можуть швидко вивести з ладу прилад.

З аналізатором ELSPEC G4430 використовується термометр опору РТ-100. Використання такого термометра забезпечує кращу стабільність та точність, ніж термопара. Такий термометр використовує електричний опір і потребує малого джерела живлення для роботи. Опір ідеально лінійно змінюється з температурою [12].

На цьому етапі ми можемо отримувати наступні температурні параметри [12]:

1) Температуру всередині пристрою: мінімальне значення, максимальне значення та середнє значення [12];

2) Температуру зовні пристрою, яка визначається за допомогою термометра РТ-100. Мінімальне значення, максимальне значення та середнє значення відповідно [12];

3) Температуру модуля живлення: мінімальні та максимальні її значення [12].

Аналогічно до попередніх етапів, налаштування вимірювань температури можна скинути до значень за замовченням.

2.6.4. Визначення фазерів за допомогою аналізатора ELSPEC G4430

Фазери є векторним зображенням напруг та струмів в системі. Для прикладу наведено малюнок 2.12 :

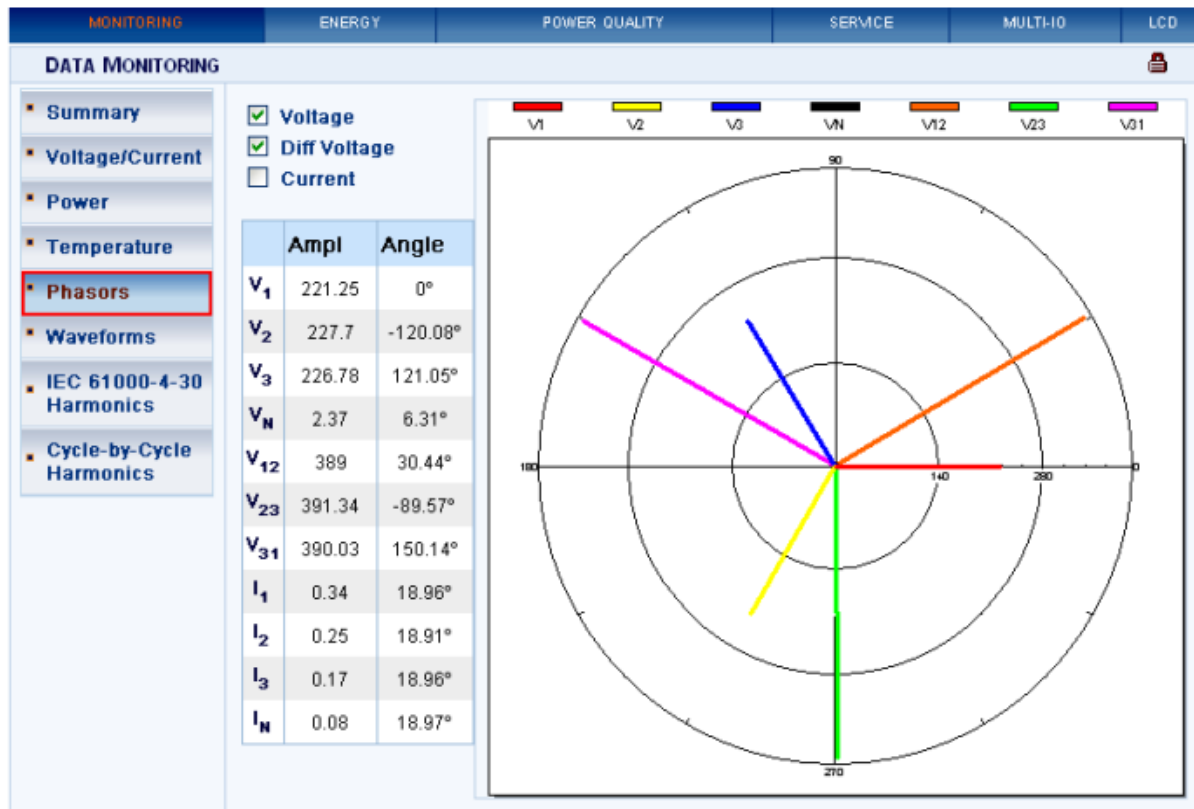


Рис.2.12 Графічне зображення фазерів [12].

Програмне забезпечення аналізатора ELSPEC G4430 дозволяє виносити на графік наступні параметри [12]:

- 1)Фазну та міжфазну напруги, в залежності від способу приєднання;
- 2)Фазний та міжфазний струм, в залежності від способу приєднання;
- 3)Амплітудні значення фазерів;
- 4)Кут, у відповідності до гармонік.

2.6.5. Визначення форми хвиль за допомогою аналізатора ELSPEC G4430

Програмне забезпечення аналізатора ELSPEC G4430 дозволяє графічно отримувати форми хвиль напруги та струмів, які визначаються. Для прикладу наведено малюнок 2.13.

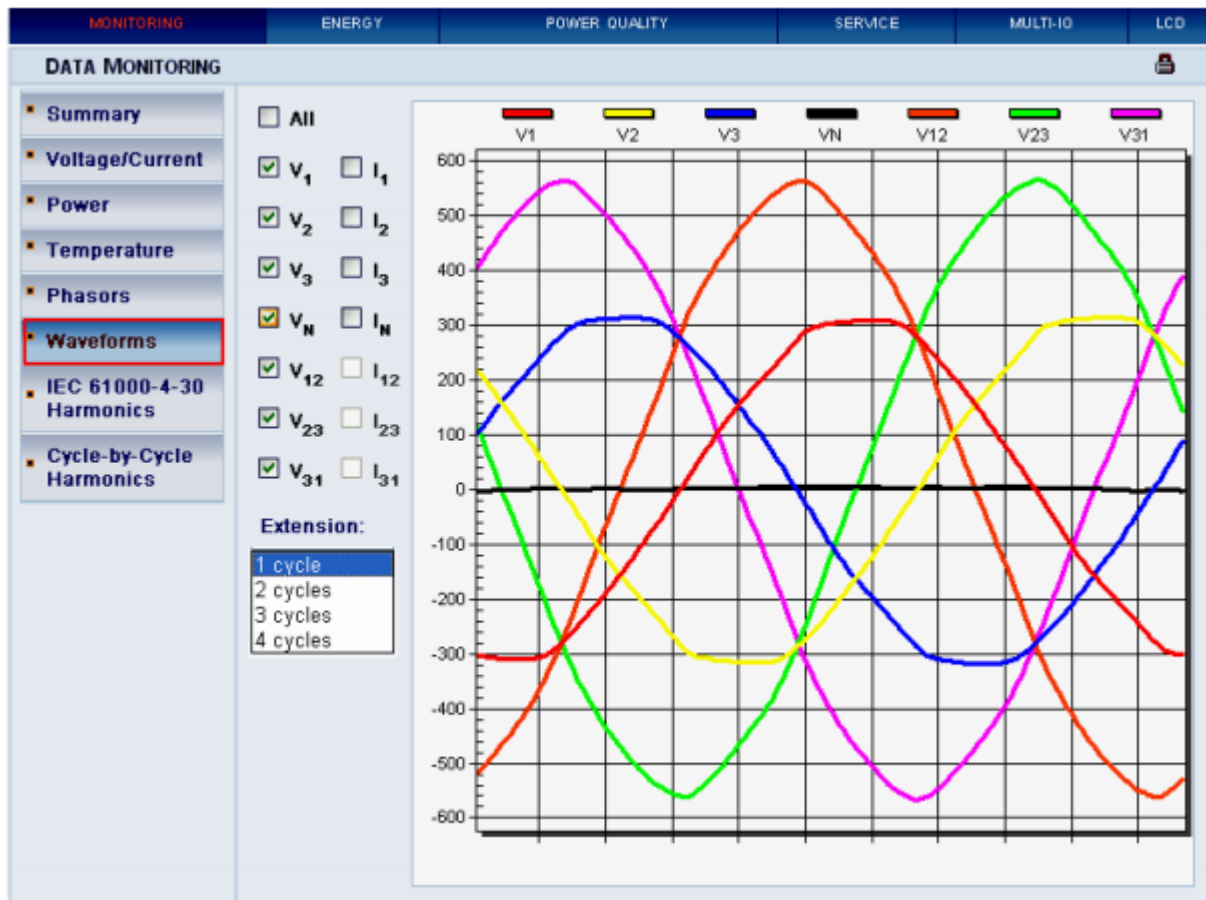


Рис.2.13 Зображення форм хвиль напруг та струму, визначених аналізатором ELSPEC G4430 [12].

Відповідно рисунку, на графік можна виносити наступні параметри[12]:

- 1)Всі отримані графіки напруг та струмів [12];
- 2)Окремі фазні та міжфазні графіки напруг та струмів, в залежності від налаштувань потужності [12];
- 3)Розширення параметрів по циклам [12].

До переваг програмного забезпечення аналізатора ELSPEC G4430 можна віднести можливість змінювати масштаб графіка, за необхідності його

збільшувати або зменшувати. Такі можливості акцентують увагу на зручності використання ПЗ.

2.6.6. Визначення гармонік за допомогою аналізатора ELSPEC G4430

В даному вікні налаштувань ми можемо отримувати зображення гармонік у вигляді діаграми за напругами та струмами, у відповідності до методу моніторингу [12].

Програмне забезпечення дозволяє автоматично вибирати всі гармоніки.

У відповідності до стандарту IEC 61000-4-30, ми можемо вибирати потрібні нам гармоніки за напругою та струмом, фазні або міжфазні, в залежності від налаштувань потужності. Ми можемо регулювати кількість гармонік на одному графіку. Отримувати зображення першої гармоніки на ряду з іншими [12].

Метод «Цикл за циклом» також дозволяє нам вибирати потрібні гармоніки за напругою та струмом. Регулювати кількість гармонік на графіку. Крім того, ми маємо можливість відображати гармоніку постійного струму. Перша гармоніка завжди відображається з постійним струмом [12].

Значною перевагою аналізатору ELSPEC G4430 у порівнянні з іншими аналізаторами, є можливість отримувати зображення суб/інтер гармонік, які розраховуються протягом 200 мілісекунд, з роздільною здатністю в 5 Гц.

2.6.7. Визначення енергії за допомогою аналізатора ELSPEC G4430

В даному вікні налаштувань ми можемо спостерігати за споживанням та попитом енергії. Можуть бути отримані наступні значення[12]:

- 1)Активна енергія [12];
- 2)Реактивна енергія [12];
- 3)Поєднання активної та реактивної енергії [12];
- 4)Коефіцієнт потужності [12];

- 5)Різницю між використаною та отриманою енергією [12];
- 6)Споживання, що є довільною мірою потужності на одиницю часу, використовуючи різні методи [12];
- 7)Найбільше значення споживання, яке визначають від моменту останнього скидання [12].

Як висновок, можемо зазначити, що до переваг аналізатора можна віднести можливість отримання детальної статистики про вимірювання енергії, а саме: дату на час останнього старту, загальний час роботи приладу,

Також перевагою є можливість визначення сумарного спотворення споживання, яке визначається за формулою 10 [12]:

$$I_{TTD} = \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} \frac{I_h^2}{I_L^2}} * 100\% \quad (10).$$

2.7 Контроль показників якості електроенергії базі програмного забезпечення аналізатору ELSPEC G4430

На базі ПЗ аналізатора ELSPEC G4430 користувачеві не лише дозволяється задавати межі параметрам якості електроенергії, що відповідають діючим стандартам держав-постачальників, а й задавати необхідні параметри у довільній формі.

Всі визначені параметри якості електроенергії автоматично заносяться програмою до таблиці, де за бажанням користувач може відкрити віконце з більш точним роз'ясненням необхідного параметру. Не всі параметри можна виміряти відразу, деякі параметри визначаються на протязі певного проміжку часу.

Кожен параметр якості електроенергії, який внесено в таблицю, має свій статус, відповідно: статус «OK» означає, що параметр відповідає нормованому значенню; статус «Fail» означає, що параметр не задовольняє вимоги заданого

державного стандарту; статус «N/A» означає , що параметр ще не визначений [12].

Даний спосіб зображення є досить зручним та не потребує багато зусиль, щоб в ньому розібратися, адже кожен параметр має відповідний йому опис та статус.

Програмне забезпечення дозволяє відобразити наступні параметри [12]:

- 1) Частоту напруги [12];
- 2) Напругу споживання [12];
- 3) Різкі зміни напруги [12];
- 4) Провали напруги споживання [12];
- 5) Короткочасні переривання напруги [12];
- 6) Довготривалі переривання напруги [12];
- 7) Тимчасові перенапруги [12];
- 8) Рівень мерехтіння [12];
- 9) Напругу гармонік [12];
- 10) Небаланс напруги [12].

Однією із значних переваг програмного забезпечення аналізатора ELSPEC G4430 є можливість відстежувати та контролювати необхідний параметр протягом тривалого часового проміжку, а потім, в відповідній таблиці, бачити в процентному співвідношенні, яку частину часу параметр відповідав нормованому значенню, яку частину часу значення параметру не відповідало вимогам заданого стандарту та частину часу, за який параметр визначався. Також є можливість задавати сам інтервал визначення.

Ще однією вагомою перевагою є можливість перегляду результатів визначення в вигляді діаграми – так званої діаграми відповідності. Користувач може сам задавати межі необхідних йому параметрів в процентному співвідношенні, після чого система сама визначає і показує, які з параметрів відповідають нормованим значенням, а які відхиляються від допустимого.

Наступною перевагою є окремі сторінки, які даються користувачеві для довільного налаштування параметрів для різних показників якості електроенергії. Так наприклад перша сторінка користувача може містити наступні показники [12]:

- Частоту напруги [12];
- Провали напруги споживання [12];
- Короткочасні переривання напруги [12];
- Довготривалі переривання напруги [12];
- Тимчасові перенапруги [12].

Кожному з показників можна задати порогові та критичні значення. Всі визначені показники можна буде спостерігати на діаграмі, де відповідними кольорами будуть позначені значення, які в межах норми, значення, які не входять в задані межі та значення, величина яких є критично недопустимою.

На другій сторінці користувача, може міститись наступна інформація [12]:

- Варіації напруги [12];
- Різкі зміни напруги [12];
- Небаланси напруги [12];
- Миготіння напруги [12].

На цій сторінці, аналогічно попередній, також можна задавати на контролювати порогові значення та критичні.

На третій сторінці користувач може налаштовувати параметри гармонік напруги, такі як [12]:

- Діапазон напруг, для контролю небалансу напруги [12];
- Умови відповідності, за яких гармоніки повинні лишатися в діапазоні [12];
- Власні ліміти [12];
- Переривання напруги [12];

- Спади та зростання напруги [12].

Вимірювання мерехтінь визначається у відповідності до стандартів ІЕС 61000-4-30, EN60150 та ГОСТ 13109 [12].

Висновки до розділу 2

1. Комплект ПЗ аналізатора ELSPEC G4430 дозволяє виконувати його налаштування, самодіагностування, приєднання до інтелектуальних мереж. За допомогою вбудованого ПЗ можна налаштовувати сповіщення, які будуть надходити на задану користувачем електронну адресу. Існує можливість задавати необхідні користувачу показники та події для оповіщення.

2. З використанням програмного забезпечення аналізатора можна контролювати час його роботи, виявляти його збої, оновлювати ПЗ, архівувати визначені показники. ПЗ дає можливість повністю підлаштовувати пристрій під потреби користувача: можна задати межі для будь-яких параметрів, інтервалів вимірювань, гармонік основної частоти, які будуть використані для побудови кінцевого звіту чи аналізу необхідних показників якості електроенергії.

3. Узгодження приладу ELSPEC G4430 з низьковольтним плечем подільника напруги

3.1 Огляд низьковольтного плеча подільника напруги

В даному дослідженні використовується блок низьковольтного плеча подільника напруги. Схема заміщення даного блоку низьковольтного плеча з підключенням до нього джерела струму представлена на рисунку 3.1.

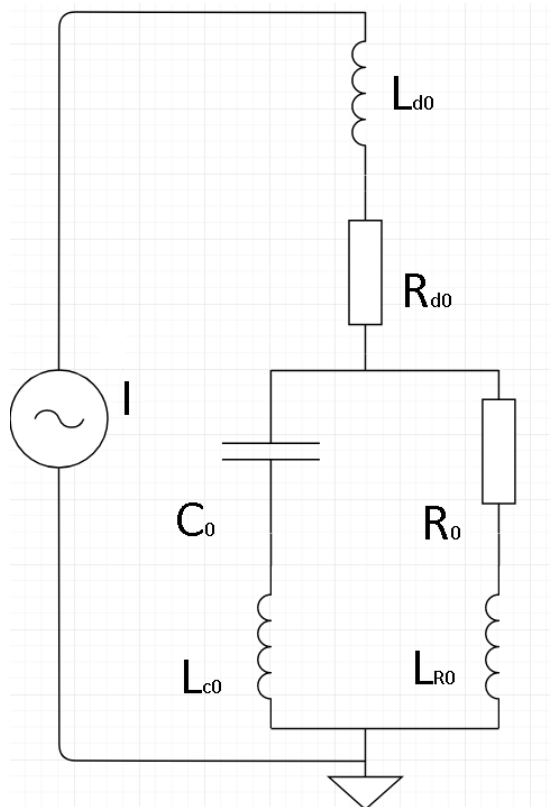


Рис.3.1. Схема заміщення блоку низьковольтного плеча.

На даній схемі (Рис.3.1) присутні наступні складові:

R_0 – активний опір блоку резисторів низьковольтного плеча;

C_0 – ємність блоку конденсаторів низьковольтного плеча;

L_{R0} – індуктивність блоку резисторів низьковольтного плеча;

L_{c0} – індуктивність блоку конденсаторів низьковольтного плеча;

R_{d0} – активний опір блоку демпферних резисторів низьковольтного плеча;

L_{d0} – індуктивність блоку демпферних резисторів низьковольтного плеча;

I – джерело струму.

Для визначення спаду напруги на низьковольтному плечі в схему подається таке значення струму, щоб в результаті за будь-якої частоти отримати спад напруги в 100В. Щоб отримати необхідне значення спаду напруги задані наступні параметри схеми:

$$R_0 = 258,033646 \text{ кОм};$$

$$C_0 = 124,98533 \text{ нФ};$$

$$L_{R0} = 21,06625 \text{ нГн};$$

$$L_{C0} = 3,642341 \text{ нГн};$$

$$R_{д0} = 637,545 \text{ мОм};$$

$$L_{д0} = 9,058174 \text{ нГн}.$$

За даних параметрів блоку низьковольтного плеча було підібрано такі значення струму, щоб за будь-якої на кожній з гармонік отримувати спад напруги 100В.

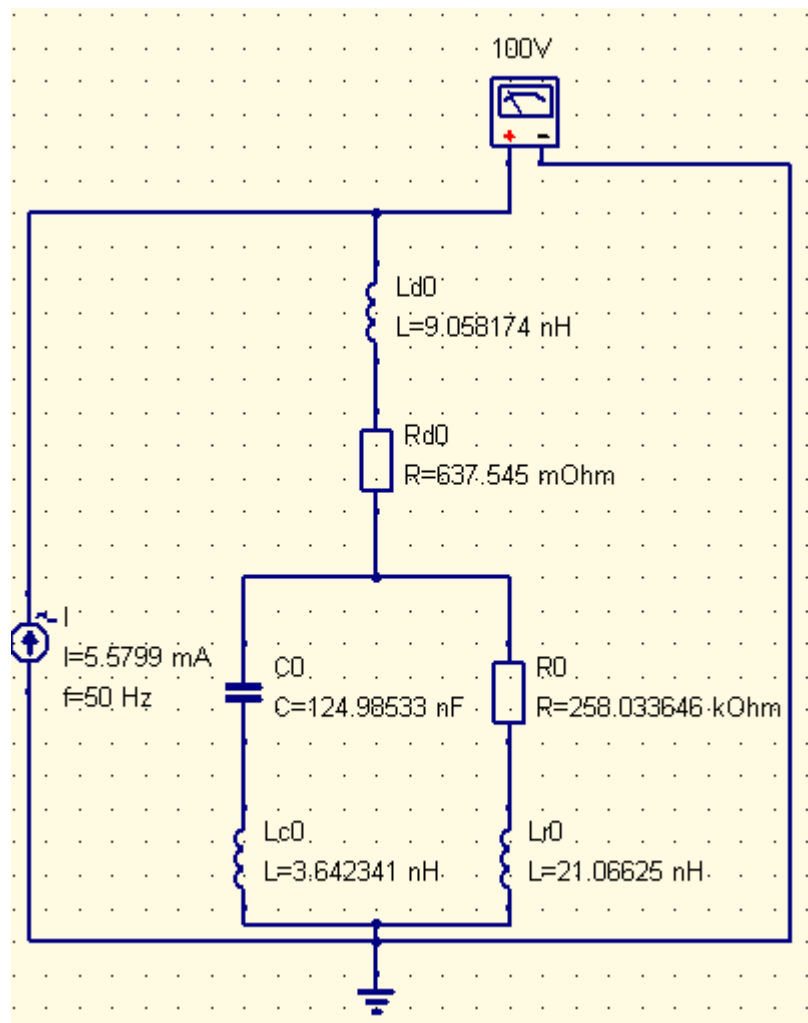


Рис.3.2. Вимірювання спаду напруги на блоці низьковольтного плеча за частоти 50Гц без приєднання приладу контролю показників якості електроенергії.

На рисунку 3.2 бачимо , що за частоти 50Гц та струму 5,5799мА отримується спад напруги в 100В на низьковольтному плечі подільника напруги.

Так як аналізатор ELSPEC G4430 дає можливість вимірювати показники якості електроенергії для перших 40-а гармонік, тому доцільно буде розрахувати значення струму для підтримання спаду напруги в 100В на низьковольтному плечі для 40-а перших гармонік, а саме для частот від 50Гц до 2кГц з інтервалом в 50Гц.

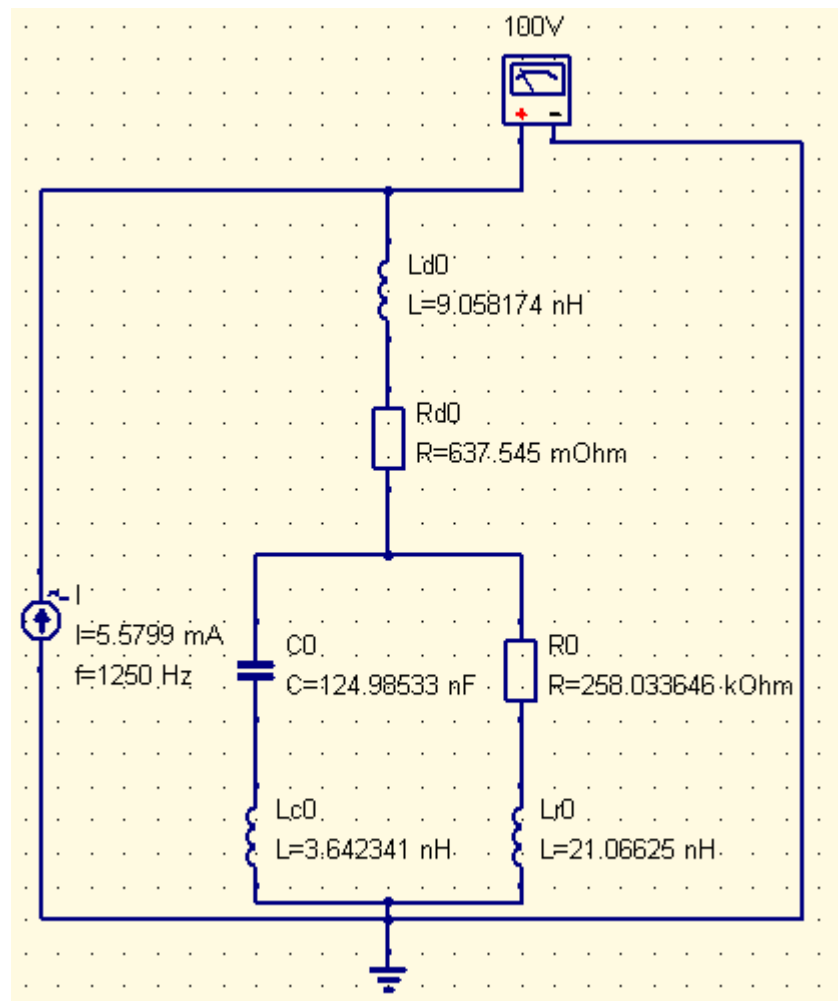


Рис.3.3. Вимірювання спаду напруги на блоці низьковольтного плеча за частоти 1250Гц без приєднання приладу контролю показників якості електроенергії.

З рисунку 3.3 бачимо, що струм підібраний вірно, так як за частоти 1250Гц спад напруги на блоці низьковольтного плеча залишається незмінним.

Всі результати вимірів спаду напруги на відповідних гармоніках наведено в таблиці 3.1. Відповідні значення спаду напруги будуть в подальших вимірах та розрахунках прийняті за еталонні, для відповідних їм гармонік.

Таблиця 3.1. Вимірювання спаду напруги для перших 40-а гармонік без приєднання приладу контролю показників якості електроенергії.

Струм, мА	Частота, Гц	Напруга на плечі, В
5,5799	50	100
11,1194	100	100
16,6679	150	100
22,2187	200	100
27,7707	250	100
33,3229	300	100
38,8759	350	100
44,4292	400	100
49,9828	450	100
55,5365	500	100
61,0905	550	100
66,6455	600	100
72,1999	650	100
77,7551	700	100
83,3115	750	100
88,8669	800	100
94,4242	850	100
99,9809	900	100
105,538	950	100
111,096	1000	100
116,655	1050	100
122,214	1100	100
127,774	1150	100
133,335	1200	100
138,895	1250	100
144,457	1300	100
150,02	1350	100
155,583	1400	100
161,147	1450	100
166,712	1500	100
172,277	1550	100
177,844	1600	100
183,412	1650	100
188,98	1700	100
194,55	1750	100
200,12	1800	100
205,691	1850	100
211,263	1900	100
216,837	1950	100
222,411	2000	100

Як ми бачимо в таблиці 3.1, спад напруги на блоці низьковольтного плеча напруги залишається незмінним за будь-якої частоти, отже струми підібрані вірно.

Окрім перших 40-а гармонік слід також звернути увагу на імпульсні значення частоти, такі як 50, 100, 250, 500кГц та 1МГц, та дослідити на цих значеннях спаду напруги. Результати наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Вимірювання спаду напруги за імпульсних частот на блоці низьковольтного плеча подільника напруги без приєднання приладу контролю показників якості електроенергії.

Струм, А	Частота, Гц	Напруга на плечі, В
5,62458	50000	100
11,2436	100000	100
28,015	250000	100
55,3645	500000	100
105,713	1000000	100

З даних, наведених в таблиці 3.2 слідує, що для імпульсних частот був також вірно підібраний струм і спад напруги на плечі залишається незмінним.

Так як ми визначились з необхідними значеннями джерела струму, переходимо до визначення спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430, який приєднується до блоку низьковольтного плеча подільника напруги.

3.2 Визначення спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 приєднаному до блоку низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 5м

Для проведення наступних вимірювань до схеми заміщення блоку низьковольтного плеча, що представлена на рисунку 3.1, приєднується аналізатор ELSPEC G4430. Схема заміщення набуває наступного вигляду (Рис.3.4).

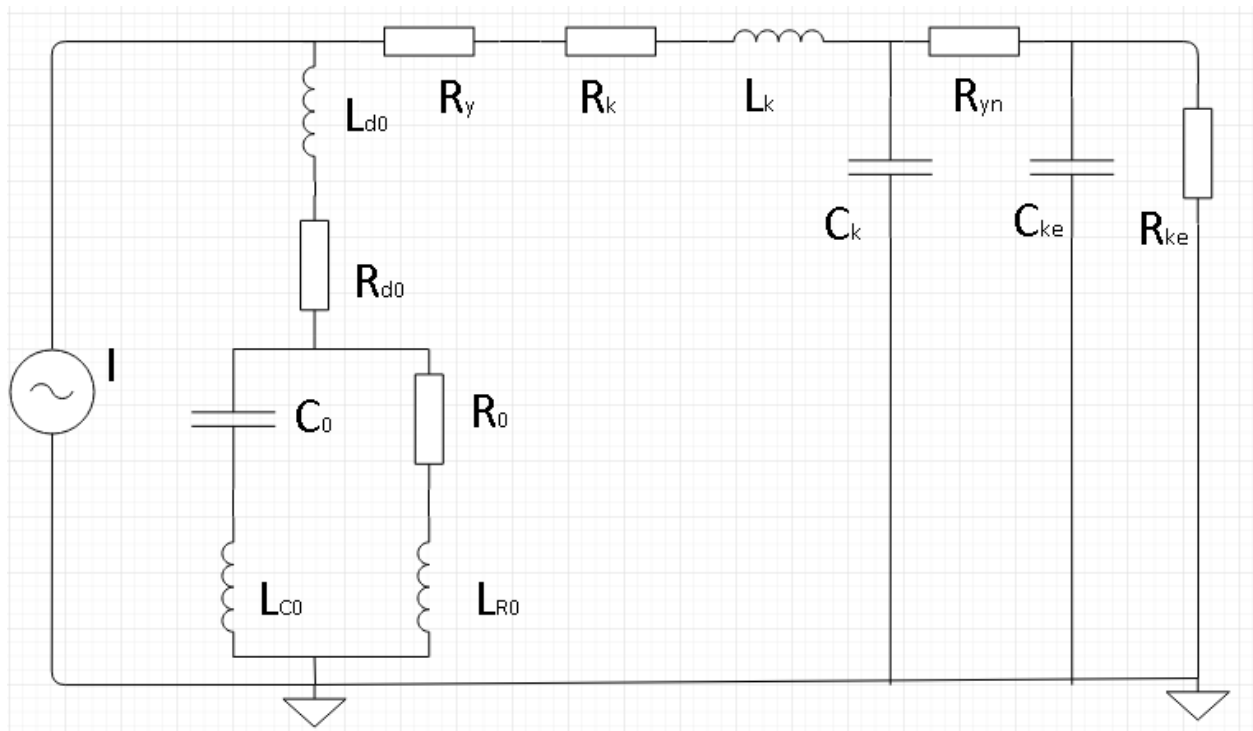


Рис.3.4. Схема заміщення блоку низьковольтного плеча з приєднанням до нього аналізатору ELSPEC G4430.

Наведеній схемі (Рис.3.4) відповідають наступні складові:

R_0 – активний опір блоку резисторів низьковольтного плеча;

C_0 – ємність блоку конденсаторів низьковольтного плеча;

L_{R0} – індуктивність блоку резисторів низьковольтного плеча;

L_{C0} – індуктивність блоку конденсаторів низьковольтного плеча;

R_{d0} – активний опір блоку демпферних резисторів низьковольтного плеча;

L_{d0} – індуктивність блоку демпферних резисторів низьковольтного плеча;

I – джерело струму;

R_y – узгоджувальний елемент низьковольтного плеча;

R_{yn} – узгоджувальний елемент аналізатора;

R_k – активний опір з'єднувального кабелю;

L_k – індуктивність з'єднувального кабелю;

C_k – ємність з'єднувального кабелю;

R_{ke} – вхідний активний опір аналізатора;

C_{ke} – вхідна ємність аналізатора.

Величини складових даної схеми (Рис.3.7):

$$R_0 = 258,033646 \text{ кОм};$$

$$C_0 = 124,98533 \text{ нФ};$$

$$L_{R0} = 21,06625 \text{ нГн};$$

$$L_{C0} = 3,642341 \text{ нГн};$$

$$R_{д0} = 637,545 \text{ мОм};$$

$$L_{д0} = 9,058174 \text{ нГн};$$

$$R_y = 50 \text{ Ом};$$

$$R_{yn} = 50 \text{ Ом};$$

$$R_k = 0,02 \frac{\text{Ом}}{\text{м}};$$

$$L_k = 0,1536 \frac{\text{мкГн}}{\text{м}};$$

$$C_k = 61,45 \frac{\text{пФ}}{\text{м}};$$

$$R_{ke} = 3 \text{ МОм};$$

$$C_{ke} = 20 \text{ пФ}.$$

Параметри джерела струму використовують з таблиці 3.1 та таблиці 3.2 для відповідних значень частоти гармонік. На даному етапі вимірювань аналізатор приєднується за допомогою кабелю довжиною 5 метрів та проводяться подальші виміри спаду напруги вже на самому аналізаторі для перших 40-а гармонік з інтервалом по 10, для більш детального зображення спаду напруги. Значення R_K , L_K , C_K зазначені для кабелю довжиною 5м.

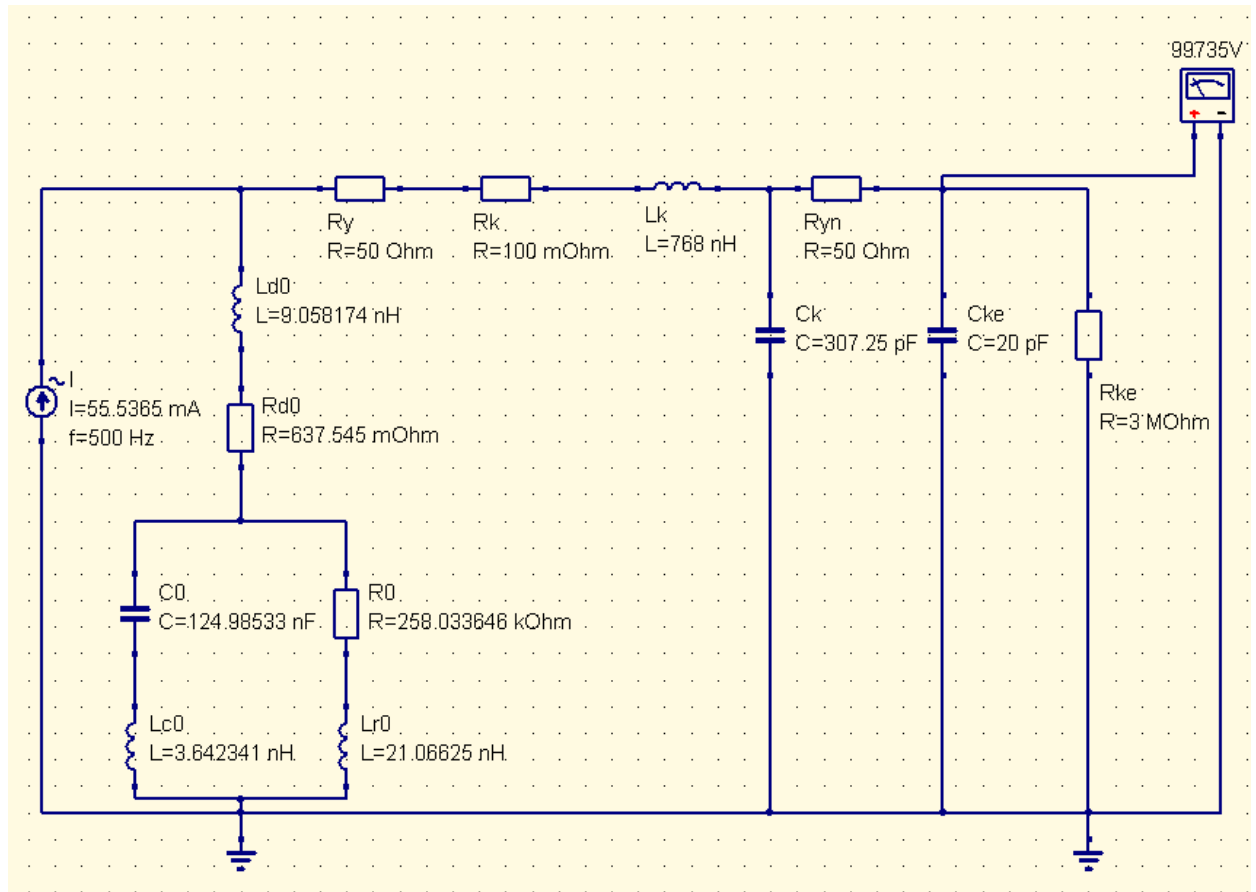


Рис.3.5. Вимірювання спаду напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча кабелем довжиною 5м за частоти 500Гц.

Всі виміряні величини спаду напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 5м для гармонік 1-10 занесені до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Вимірювання спаду напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча кабелем довжиною 5м для перших 10-и гармонік.

Струм, мА	Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В
5,5799	50	100	99,652
11,1194	100	100	99,718
16,6679	150	100	99,729
22,2187	200	100	99,733
27,7707	250	100	99,736
33,3229	300	100	99,736
38,8759	350	100	99,737
44,4292	400	100	99,738
49,9828	450	100	99,738
55,5365	500	100	99,735

Згідно таблиці визначених значень, бачимо певні зменшення в спаді напруги, які відбулись за рахунок приєднання аналізатору кабелем певної довжини. Для наглядного зображення відмінності між спадом напруги на низьковольтному плечі подільника напруги та спадом напруги на аналізаторі приєднаному кабелем довжиною 5м наведено графік (рис.3.6).

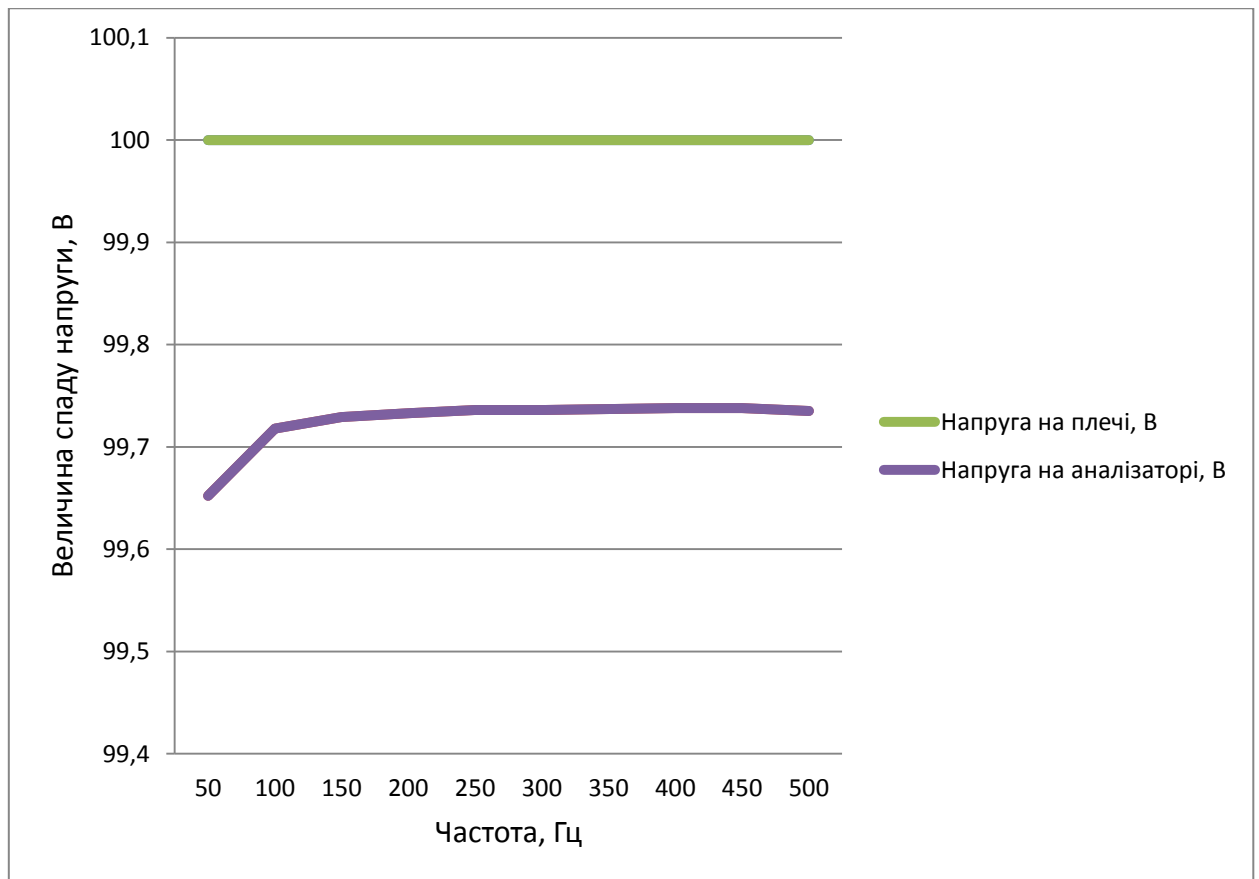


Рис.3.6. Зображення спаду напруги на аналізаторі приєднаному кабелем довжиною 5м до низьковольтного плеча подільника напруги відносно спаду напруги на самому плечі для гармонік 1-10.

Далі проводимо виміри спаду напруги для наступних гармонік 11-20 на аналізаторі з кабелем приєднання 5м. Всі виміряні значення спаду напруги для гармонік 11-20 занесені в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4. Вимірювання спаду напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча кабелем довжиною 5м для гармонік 11-20.

Струм, мА	Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В
61,0905	550	100	99,734
66,6455	600	100	99,735
72,1999	650	100	99,735
77,7551	700	100	99,735
83,3115	750	100	99,736
88,8669	800	100	99,735
94,4242	850	100	99,736
99,9809	900	100	99,735
105,538	950	100	99,735
111,096	1000	100	99,735

Згідно таблиці 3.4 можна зробити висновок , що спад напруги на аналізаторі з кабелем довжиною 5м має фактично лінійну залежність. Що і підтверджується рисунком 3.7.

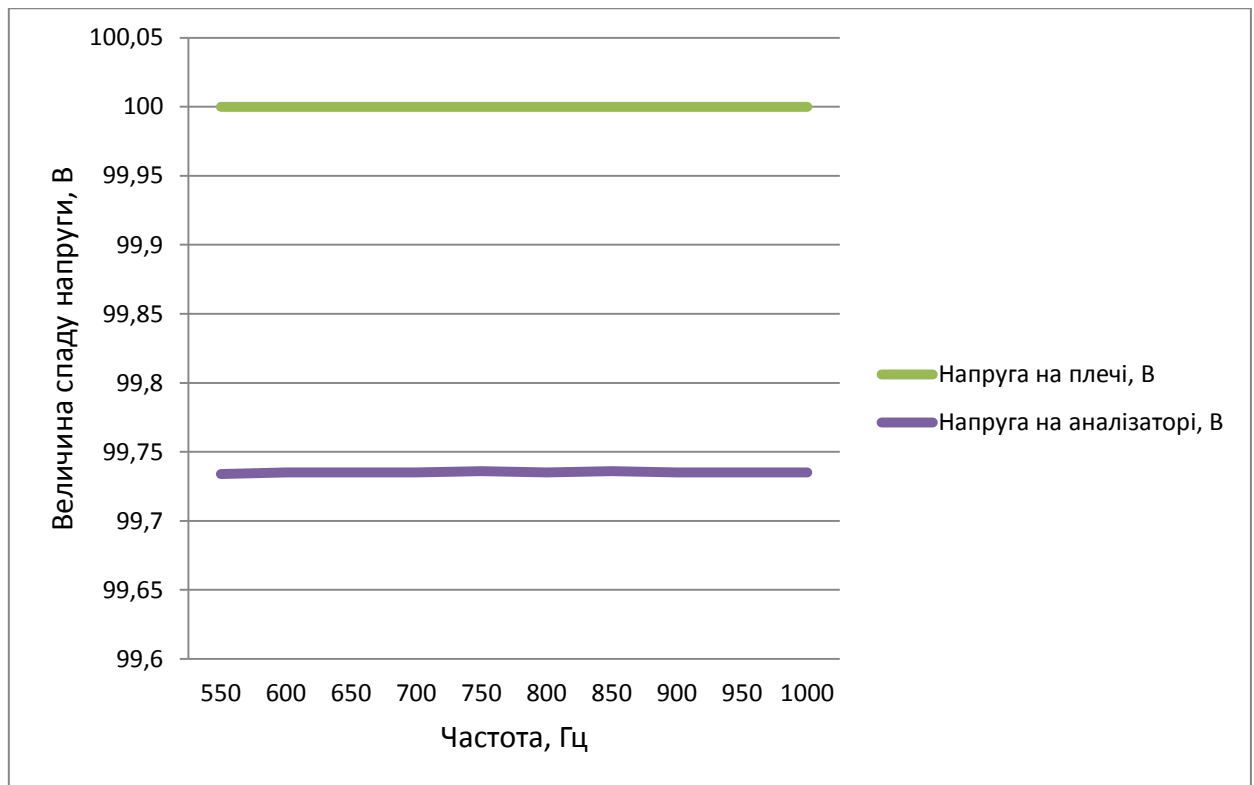


Рис.3.7. Зображення спаду напруги на аналізаторі приєднаному кабелем довжиною 5м до низьковольтного плеча подільника напруги відносно спаду напруги на самому плечі для гармонік 11-20.

Далі проводимо виміри спаду напруги на аналізаторі з кабелем приєднання довжиною 5м для наступного ряду гармонік, а саме 21-30. Всі виміряні значення спаду напруги для гармонік 21-30 занесені в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5. Вимірювання спаду напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча кабелем довжиною 5м для діапазону гармонік 21-30.

Струм, мА	Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В
116,655	1050	100	99,735
122,214	1100	100	99,735
127,774	1150	100	99,735
133,335	1200	100	99,736
138,895	1250	100	99,735
144,457	1300	100	99,735
150,02	1350	100	99,735
155,583	1400	100	99,735
161,147	1450	100	99,735
166,712	1500	100	99,735

Згідно таблиці 3.5 видно, що спад напруги на аналізаторі з кабелем довжиною 5м для 21-30 гармонік залишається майже незмінним.

Далі проводимо виміри спаду напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 5м для останніх 10-ти гармонік, а саме 31-40. Всі виміряні значення спаду напруги на аналізаторі з кабелем приєднання 5м для гармонік 21-30 занесені в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6. Вимірювання спаду напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча кабелем довжиною 5м для гармонік 31-40.

Струм, мА	Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В
172,277	1550	100	99,735
177,844	1600	100	99,735
183,412	1650	100	99,735
188,98	1700	100	99,735
194,55	1750	100	99,736
200,12	1800	100	99,735
205,691	1850	100	99,735
211,263	1900	100	99,735
216,837	1950	100	99,736
222,411	2000	100	99,736

Згідно таблиці 3.6 бачимо , що спад напруги на аналізаторі з кабелем приєднання довжиною 5м знаходиться в діапазоні 99,735..99,736В

Далі вимірюємо спад напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 5м для імпульсних значень частоти - 50, 100, 250, 500кГц та 1МГц. Результати вимірювань занесені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7. Вимірювання спаду напруги за імпульсних частот на аналізаторі з кабелем приєднання 5м.

Струм, А	Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В
5,62458	50000	100	99,737
11,2436	100000	100	99,739
28,015	250000	100	99,764
55,3645	500000	100	99,85
105,713	1000000	100	100,204

За даними таблиці 3.7 будуємо графік (рис.3.8).

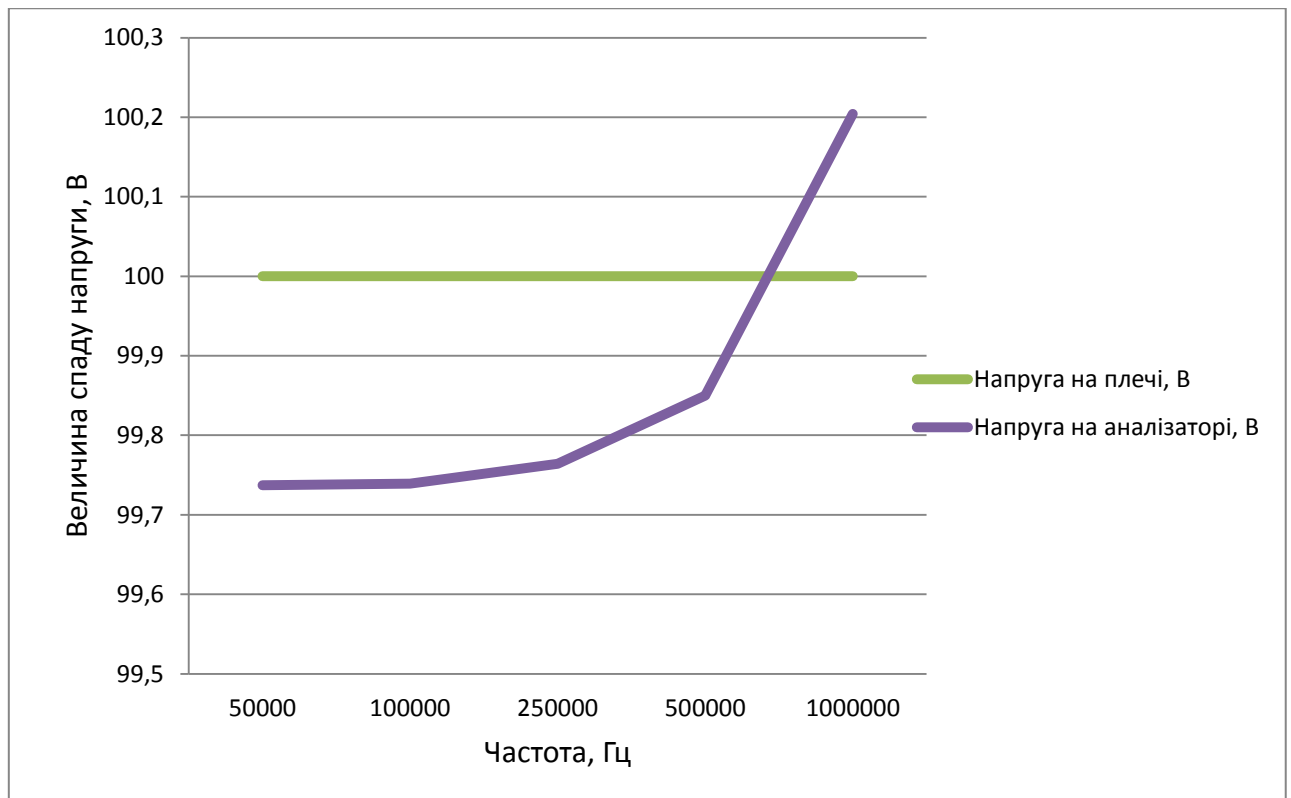


Рис.3.8. Зображення спаду напруги на аналізаторі приєднаному кабелем довжиною 5м до низьковольтного плеча подільника напруги відносно спаду напруги на самому плечі для імпульсних частот.

На рисунку 3.8 чітко видно, що спад напруги на аналізаторі з кабелем приєднання 5м для частоти 1МГц набуває більшого значення ніж на низьковольтному плечі подільника напруги.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що величина спаду напруги для більшості частот залишається сталою і складає 99,735В. Величина спаду напруги на аналізаторі менша ніж величина спаду напруги на низьковольтному плечі подільника напруги, проте на імпульсній частоті 1МГц величина спаду напруги на аналізаторі набуває більшого значення ніж на плечі.

3.3 Визначення спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 10м

Для визначення спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 приєднаному до низьковольтного плеча кабелем довжиною 10м використовуємо схему заміщення, що представлена на рисунку 3.4. Всі параметри даної схеми залишаються незмінними, окрім параметрів кабелю приєднання. Значення R_k , L_k , C_k зазначені для кабелю довжиною 10м.

Всі виміряні величини спаду напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 10м для гармонік 1-10 занесені до таблиці 3.8.

Таблиця 3.8. Вимірювання спаду напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 10м для гармонік 1-10.

Струм, мА	Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В
5,5799	50	100	99,411
11,1194	100	100	99,471
16,6679	150	100	99,482
22,2187	200	100	99,486
27,7707	250	100	99,489
33,3229	300	100	99,489
38,8759	350	100	99,49
44,4292	400	100	99,49
49,9828	450	100	99,491
55,5365	500	100	99,491

Для наглядного зображення відмінності між спадом напруги на низьковольтному плечі подільника напруги та спадом напруги на аналізаторі приєднаному кабелем довжиною 10м наведено графік за даними таблиці 3.8 (рис.3.9).

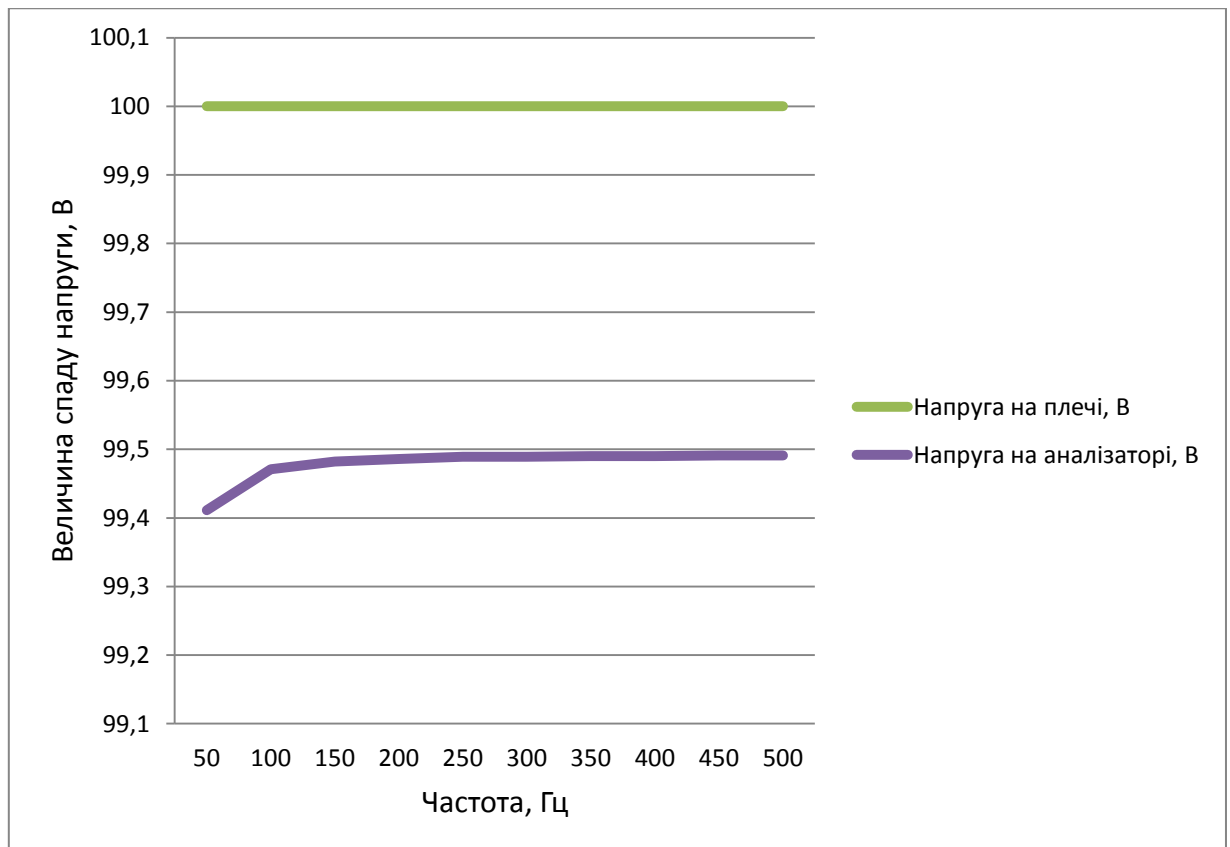


Рис.3.9. Зображення спаду напруги на аналізаторі приєднаному кабелем довжиною 10м до низьковольтного плеча подільника напруги відносно спаду напруги на самому плечі для гармонік 1-10.

Далі проводимо виміри спаду напруги на аналізаторі з кабелем приєднання 10м для наступних 10-ти гармонік, а саме 11-20. Всі виміряні значення спаду напруги в діапазоні гармонік 11-20 занесені в таблицю 3.9.

Таблиця 3.9. Вимірювання спаду напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 10м для гармонік 11-20.

Струм, мА	Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В
61,0905	550	100	99,491
66,6455	600	100	99,491
72,1999	650	100	99,491
77,7551	700	100	99,491
83,3115	750	100	99,492
88,8669	800	100	99,491
94,4242	850	100	99,492
99,9809	900	100	99,491
105,538	950	100	99,491
111,096	1000	100	99,491

Згідно таблиці 3.9 ми знову спостерігаємо майже незмінний спад напруги на аналізаторі. Що підтверджується графіком (рис. 3.10).

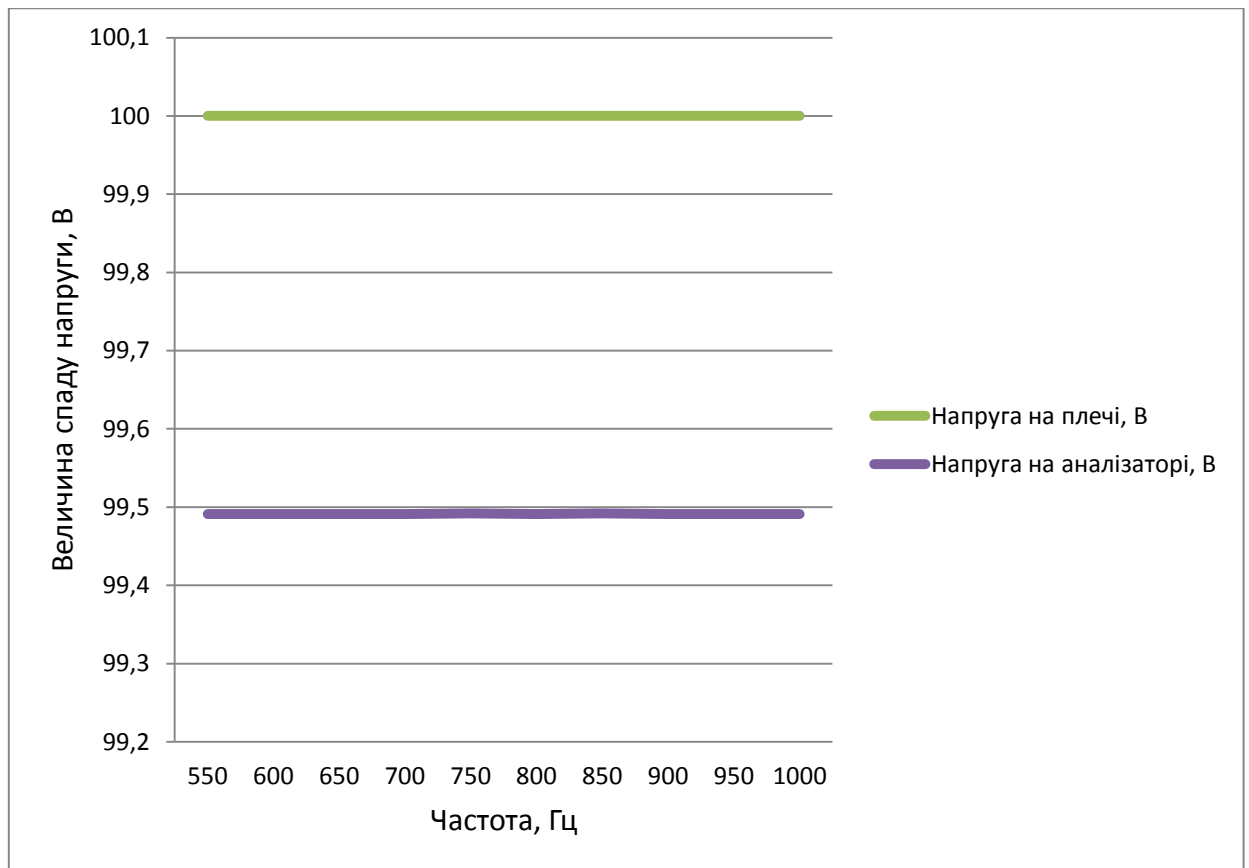


Рис.3.10. Зображення спаду напруги на аналізаторі приєднаному кабелем довжиною 10м до низьковольтного плеча подільника напруги відносно спаду напруги на самому плечі для гармонік 11-20.

Далі проводимо виміри спаду напруги на аналізаторі з кабелем приєднання 10м для наступних 10-ти гармонік, а саме 21-30. Всі виміряні значення спаду напруги в діапазоні гармонік 21-30 занесені в таблицю 3.10.

Таблиця 3.10. Вимірювання спаду напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 10м для діапазону гармонік 21-30.

Струм, мА	Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В
116,655	1050	100	99,491
122,214	1100	100	99,491
127,774	1150	100	99,491
133,335	1200	100	99,492
138,895	1250	100	99,491
144,457	1300	100	99,491
150,02	1350	100	99,491
155,583	1400	100	99,491
161,147	1450	100	99,491
166,712	1500	100	99,491

Згідно таблиці 3.10 бачимо, що спад напруги на аналізаторі з кабелем довжиною 10м для 21-30 гармонік залишається майже незмінним.

Далі проводимо виміри спаду напруги на аналізаторі з кабелем приєднання 10м для останніх 10-ти гармонік, а саме 31-40. Всі виміряні значення спаду напруги в діапазоні гармонік 31-40 занесені в таблицю 3.11.

Таблиця 3.11. Вимірювання спаду напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 10м для гармонік 31-40.

Струм, мА	Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В
172,277	1550	100	99,491
177,844	1600	100	99,491
183,412	1650	100	99,491
188,98	1700	100	99,491
194,55	1750	100	99,492
200,12	1800	100	99,491
205,691	1850	100	99,491
211,263	1900	100	99,491
216,837	1950	100	99,492
222,411	2000	100	99,492

Згідно таблиці 3.11 бачимо , що спад напруги на аналізаторі з кабелем приєднання довжиною 10м знаходить в діапазоні 99,491..99,492В.

Далі вимірюємо спад напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 10м для імпульсних значень частоти - 50, 100, 250, 500кГц та 1МГц. Результати вимірювань занесені в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12. Вимірювання спаду напруги за імпульсних частот на аналізаторі з кабелем приєднання 10м.

Струм, А	Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В
5,62458	50000	100	99,494
11,2436	100000	100	99,508
28,015	250000	100	99,607
55,3645	500000	100	99,953
105,713	1000000	100	101,324

За даними таблиці 3.12 будуємо графік (рис.3.11).

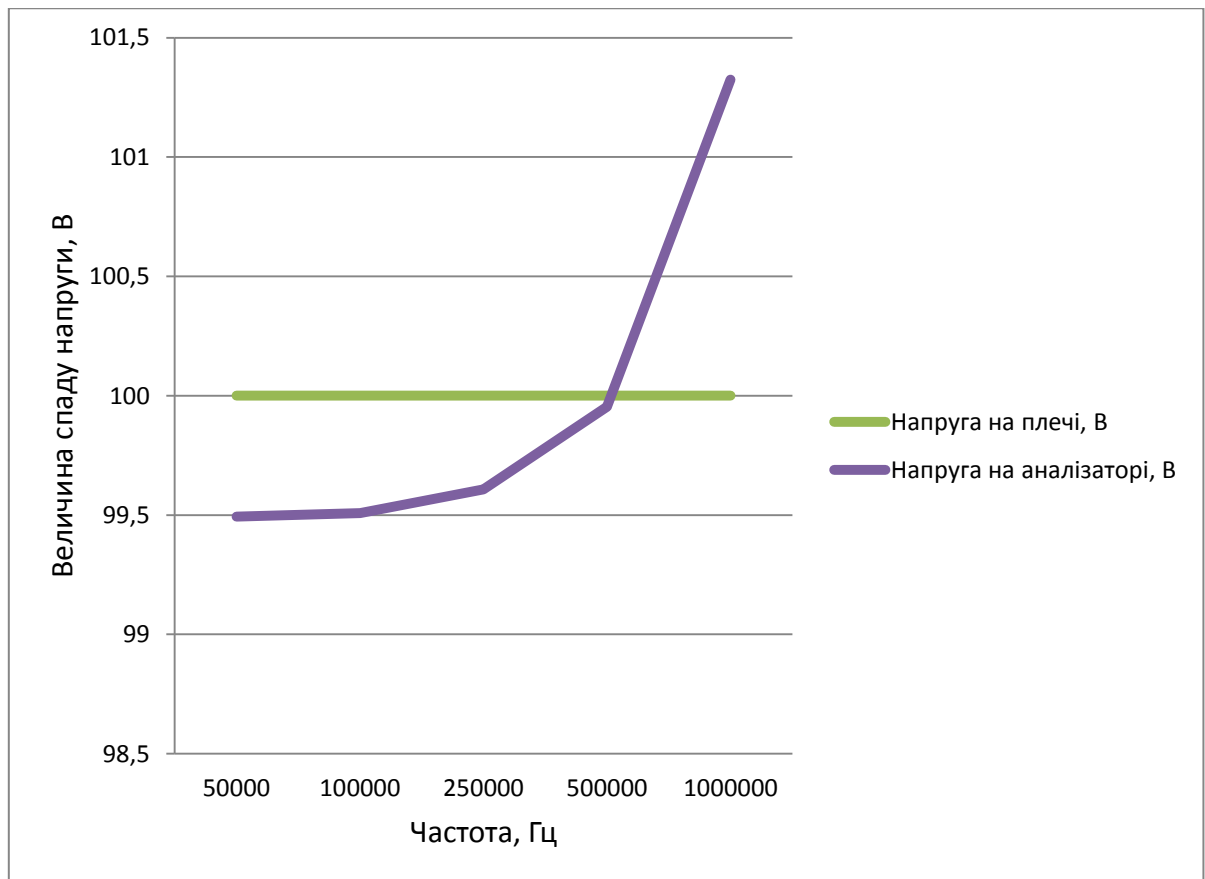


Рис.3.11. Зображення спаду напруги на аналізаторі приєднаному кабелем довжиною 10м до низьковольтного плеча подільника напруги відносно спаду напруги на самому плечі для імпульсних частот.

На рисунку 3.11 чітко видно, що значення спаду напруги на аналізаторі з кабелем приєднання 10м для частоти 1МГц набуває більшого значення ніж на низьковольтному плечі подільника напруги і складає 101,324В.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити аналогічний висновок, що величина спаду напруги для більшості частот залишається незмінною і складає 99,491В. Величина спаду напруги на аналізаторі менша ніж величина спаду напруги на низьковольтному плечі, проте на імпульсній частоті 1МГц величина спаду напруги на аналізаторі набуває більшого значення ніж на плечі і складає 101,324В.

3.4 Визначення спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 15м

Для визначення спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 приєднаному до низьковольтного плеча кабелем довжиною 15м використовуємо схему заміщення, що представлена на рисунку 3.4. Всі параметри даної схеми залишаються незмінними, окрім параметрів кабелю приєднання. Значення R_k , L_k , C_k зазначені для кабелю довжиною 15м.

Всі виміряні величини спаду напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 15м для гармонік 1-10 занесені до таблиці 3.13.

Таблиця 3.13. Вимірювання спаду напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 15м для гармонік 1-10.

Струм, мА	Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В
5,5799	50	100	99,171
11,1194	100	100	99,229
16,6679	150	100	99,24
22,2187	200	100	99,244
27,7707	250	100	99,246
33,3229	300	100	99,246
38,8759	350	100	99,247
44,4292	400	100	99,247
49,9828	450	100	99,248
55,5365	500	100	99,248

Для наглядного зображення відмінності між спадом напруги на низьковольтному плечі подільника напруги та спадом напруги на аналізаторі приєднаному кабелем довжиною 15м наведено графік за даними таблиці 3.13 (рис.3.12).

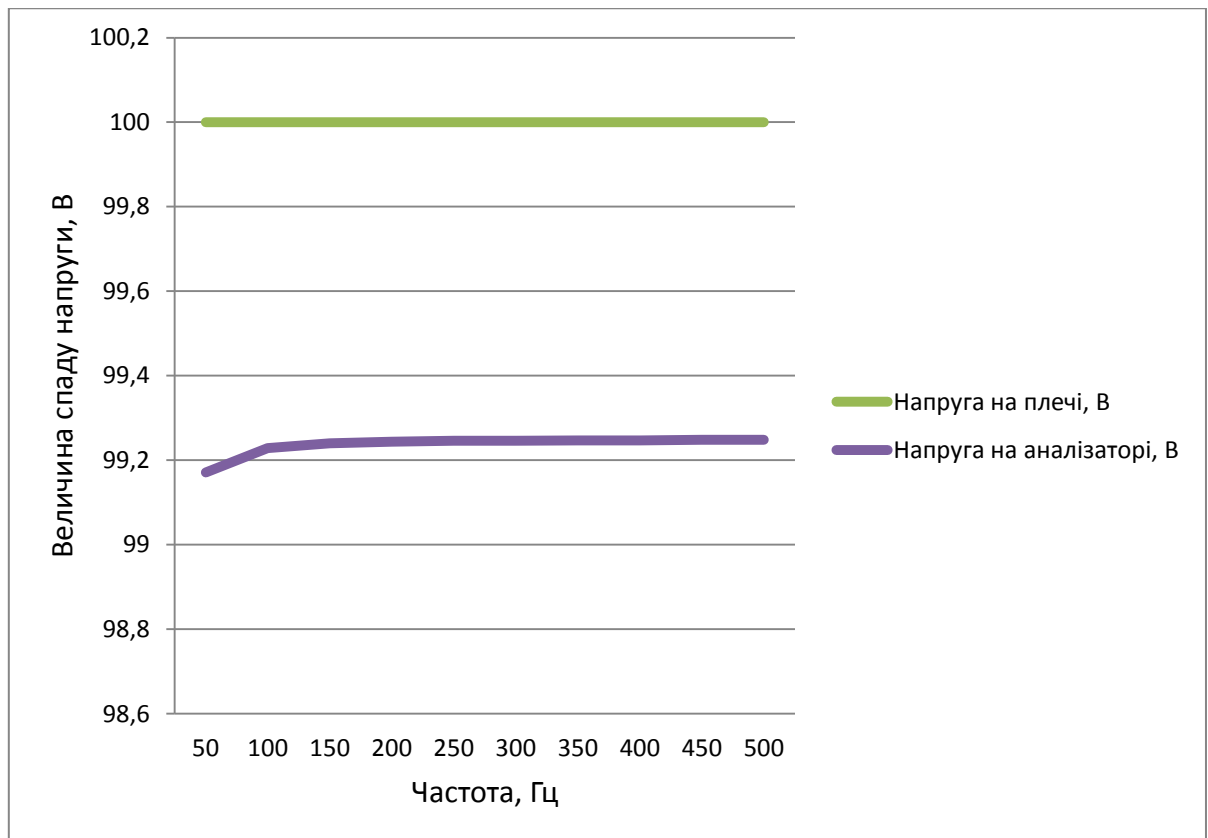


Рис.3.12. Зображення спаду напруги на аналізаторі приєднаному кабелем довжиною 15м до низьковольтного плеча подільника напруги відносно спаду напруги на самому плечі для гармонік 1-10.

Далі проводимо виміри спаду напруги на аналізаторі з кабелем приєднання 15м для наступних 10-ти гармонік, а саме 11-20. Всі виміряні значення спаду напруги в діапазоні гармонік 11-20 занесені в таблицю 3.14.

Таблиця 3.14. Вимірювання спаду напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 15м для гармонік 11-20.

Струм, мА	Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В
61,0905	550	100	99,248
66,6455	600	100	99,248
72,1999	650	100	99,248
77,7551	700	100	99,248
83,3115	750	100	99,249
88,8669	800	100	99,248
94,4242	850	100	99,249
99,9809	900	100	99,248
105,538	950	100	99,248
111,096	1000	100	99,248

Згідно таблиці 3.14 ми знову спостерігаємо майже незмінний спад напруги на аналізаторі. Що підтверджується графіком (рис. 3.13).

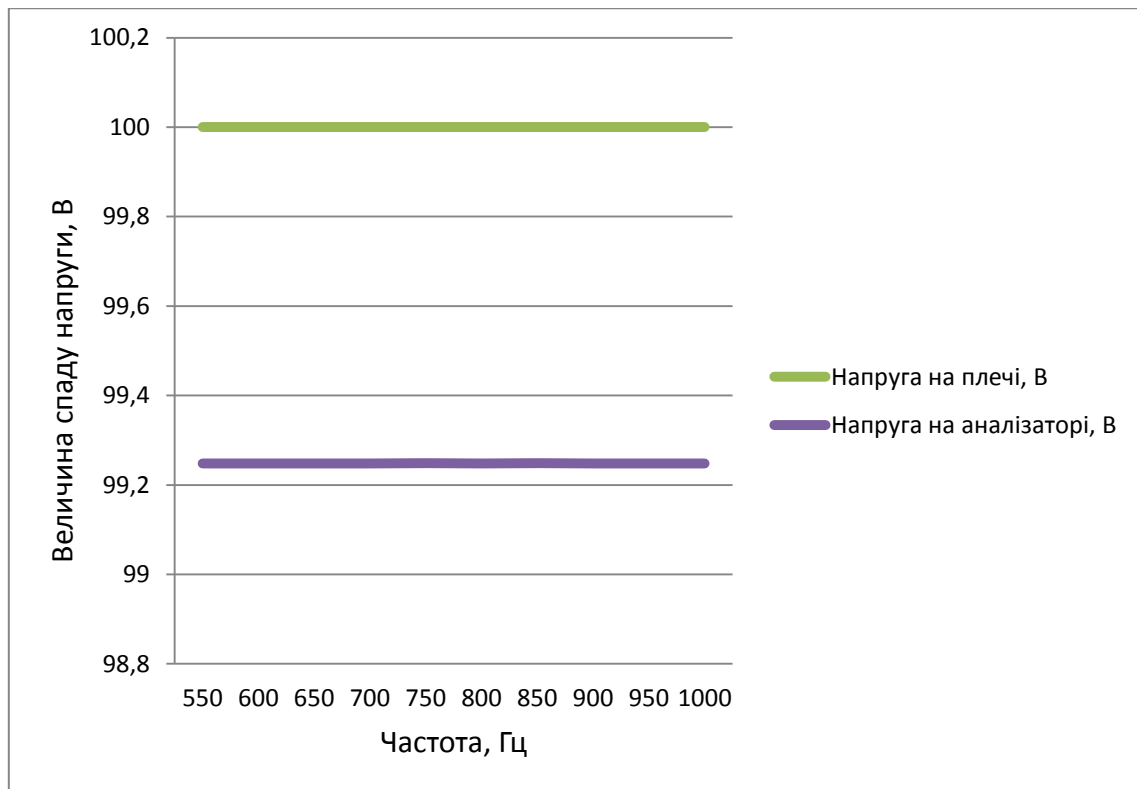


Рис.3.13. Зображення спаду напруги на аналізаторі приєднаному кабелем довжиною 15м до низьковольтного плеча подільника напруги відносно спаду напруги на самому плечі для гармонік 11-20.

Далі проводимо виміри спаду напруги на аналізаторі з кабелем приєднання 15м для наступних 10-ти гармонік, а саме 21-30. Всі виміряні значення спаду напруги в діапазоні гармонік 21-30 занесені в таблицю 3.15.

Таблиця 3.15. Вимірювання спаду напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 15м для діапазону гармонік 21-30.

Струм, мА	Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В
116,655	1050	100	99,248
122,214	1100	100	99,248
127,774	1150	100	99,248
133,335	1200	100	99,249
138,895	1250	100	99,248
144,457	1300	100	99,248
150,02	1350	100	99,248
155,583	1400	100	99,248
161,147	1450	100	99,248
166,712	1500	100	99,249

Згідно таблиці 3.15 бачимо, що спад напруги на аналізаторі з кабелем довжиною 15м для 21-30 гармонік залишається майже незмінним.

Далі проводимо виміри спаду напруги на аналізаторі з кабелем приєднання 15м для останніх 10-ти гармонік, а саме 31-40. Всі виміряні значення спаду напруги в діапазоні гармонік 31-40 занесені в таблицю 3.16.

Таблиця 3.16. Вимірювання спаду напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 15м для гармонік 31-40.

Струм, мА	Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В
172,277	1550	100	99,248
177,844	1600	100	99,248
183,412	1650	100	99,248
188,98	1700	100	99,248
194,55	1750	100	99,249
200,12	1800	100	99,248
205,691	1850	100	99,248
211,263	1900	100	99,248
216,837	1950	100	99,249
222,411	2000	100	99,249

Згідно таблиці 3.16 бачимо , що спад напруги на аналізаторі з кабелем приєднання довжиною 15м знаходить в діапазоні 99,248..99,249В.

Далі вимірюємо спад напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 15м для імпульсних значень частоти - 50, 100, 250, 500кГц та 1МГц. Результати вимірювань занесені в таблиці 3.17.

Таблиця 3.17. Вимірювання спаду напруги за імпульсних частот на аналізаторі з кабелем приєднання 15м.

Струм, А	Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В
5,62458	50000	100	99,258
11,2436	100000	100	99,289
28,015	250000	100	99,508
55,3645	500000	100	100,272
105,713	1000000	100	103,239

За даними таблиці 3.17 будуємо графік (рис.3.14).

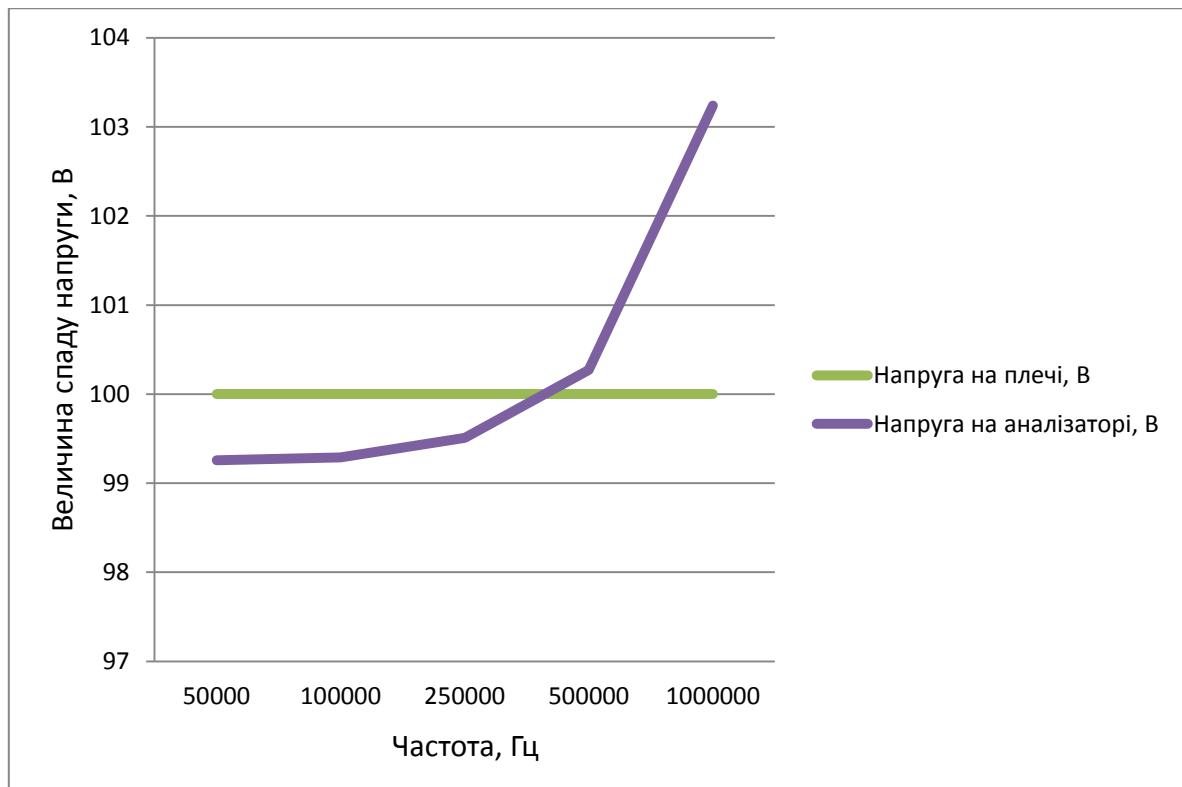


Рис.3.14. Зображення спаду напруги на аналізаторі приєднаному кабелем довжиною 15м до низьковольтного плеча подільника напруги відносно спаду напруги на самому плечі для імпульсних частот.

На рисунку 3.14 чітко видно, що значення спаду напруги на аналізаторі з кабелем приєднання 15м для частот 500кГц та 1МГц набуває більшого значення ніж на низьковольтному плечі подільника напруги і складає 100,272В та 103,239В відповідно.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що величина спаду напруги для більшості частот залишається незмінною і складає 99,248В. Величина спаду напруги на аналізаторі менша ніж величина спаду напруги на низьковольтному плечі подільника напруги, проте на імпульсних частотах 500кГц та 1МГц набуває більшого значення.

Висновки до розділу 3

1. В даному розділі було виконано моделювання схеми приєднання аналізатора показників якості електроенергії кабелем до низьковольтного плеча подільника напруги класу 110 кВ за фактичними параметрами схеми заміщення.

2. Визначено спад напруги на аналізаторі, яка виникає на його приєднанні безпосередньо до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 5, 10 та 15м для частот перших 40 гармонік промислової частоти та кількох частот, близьких до частот комутаційних та грозових перенапруг. Аналіз одержаних даних свідчить про вплив довжини кабелю приєднання на величину спаду напруги на аналізаторі: зі збільшенням довжини кабелю приєднання величина спаду напруги на аналізаторі поступово зменшується.

3. Визначені величини спаду напруги на імпульсних частотах – 50, 100 , 250, 500кГц та 1МГц. З даних вимірювання можна зробити висновок, що на частотах комутаційних та грозових перенапруг величина спаду напруги може сягати більших значень, ніж за частот перших 40 гармонік.

4. Розрахунок похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 за допомогою ПЗ

Для більше детального розгляду узгодження аналізатору ELSPEC G4430 з низьковольтним плечем подільника напруги слід також визначити похибку спаду напруги. Похибка розраховується за формулою 4.1. Для її розрахунку беремо вже визначені величини спаду напруги на низьковольтному плечі подільника напруги, його ми вважаємо еталонним, та визначені величини спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 з кабелем довжинами 5, 10 та 15м.

$$\varepsilon = \left| \frac{x_e - x}{x_e} \right| * 100\% \quad (4.1);$$

Де x_e – еталонне значення величини;

x - визначене значення.

4.1 Визначення похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430

приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною 5м

Далі наведено приклад розрахунку похибки спаду напруги на аналізаторі приєднаному до низьковольтного плеча кабелем довжиною 5м для перших 10-ти гармонік. Підставляємо в формулу 4.1 значення з таблиці 3.3 і отримуємо наступні вирази:

$$\varepsilon_1 = \left| \frac{x_{e1} - x_1}{x_{e1}} \right| * 100\% = \left| \frac{100 - 99,652}{100} \right| * 100\% = 0,348 \%;$$

$$\varepsilon_2 = \left| \frac{x_{e2} - x_2}{x_{e2}} \right| * 100\% = \left| \frac{100 - 99,718}{100} \right| * 100\% = 0,282 \%;$$

$$\varepsilon_3 = \left| \frac{x_{e3} - x_3}{x_{e3}} \right| * 100\% = \left| \frac{100 - 99,729}{100} \right| * 100\% = 0,271 \%;$$

$$\varepsilon_4 = \left| \frac{x_{e4} - x_4}{x_{e4}} \right| * 100\% = \left| \frac{100 - 99,733}{100} \right| * 100\% = 0,267 \%;$$

$$\varepsilon_5 = \left| \frac{x_{e5} - x_5}{x_{e5}} \right| * 100\% = \left| \frac{100 - 99,736}{100} \right| * 100\% = 0,264 \%;$$

$$\varepsilon_6 = \left| \frac{x_{e6} - x_6}{x_{e6}} \right| * 100\% = \left| \frac{100 - 99,736}{100} \right| * 100\% = 0,264 \%;$$

$$\varepsilon_7 = \left| \frac{x_{e7} - x_7}{x_{e7}} \right| * 100\% = \left| \frac{100 - 99,737}{100} \right| * 100\% = 0,263 \%;$$

$$\varepsilon_8 = \left| \frac{x_{e8} - x_8}{x_{e8}} \right| * 100\% = \left| \frac{100 - 99,738}{100} \right| * 100\% = 0,262 \%;$$

$$\varepsilon_9 = \left| \frac{x_{e9} - x_9}{x_{e9}} \right| * 100\% = \left| \frac{100 - 99,738}{100} \right| * 100\% = 0,262\%;$$

$$\varepsilon_{10} = \left| \frac{x_{e10} - x_{10}}{x_{e10}} \right| * 100\% = \left| \frac{100 - 99,735}{100} \right| * 100\% = 0,265 \%;$$

Таблиця 4.1. Розрахунок похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 підключеному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем 5м для перших 10-ти гармонік.

Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В	Похибка спаду напруги, %
50	100	99,652	0,348
100	100	99,718	0,282
150	100	99,729	0,271
200	100	99,733	0,267
250	100	99,736	0,264
300	100	99,736	0,264
350	100	99,737	0,263
400	100	99,738	0,262
450	100	99,738	0,262
500	100	99,735	0,265

За даними таблиці 4.1 будемо графік залежності похибки спаду напруги на аналізаторі з кабелем приєднання 5м від частоти для перших 10-ти гармонік (Рис.4.1).

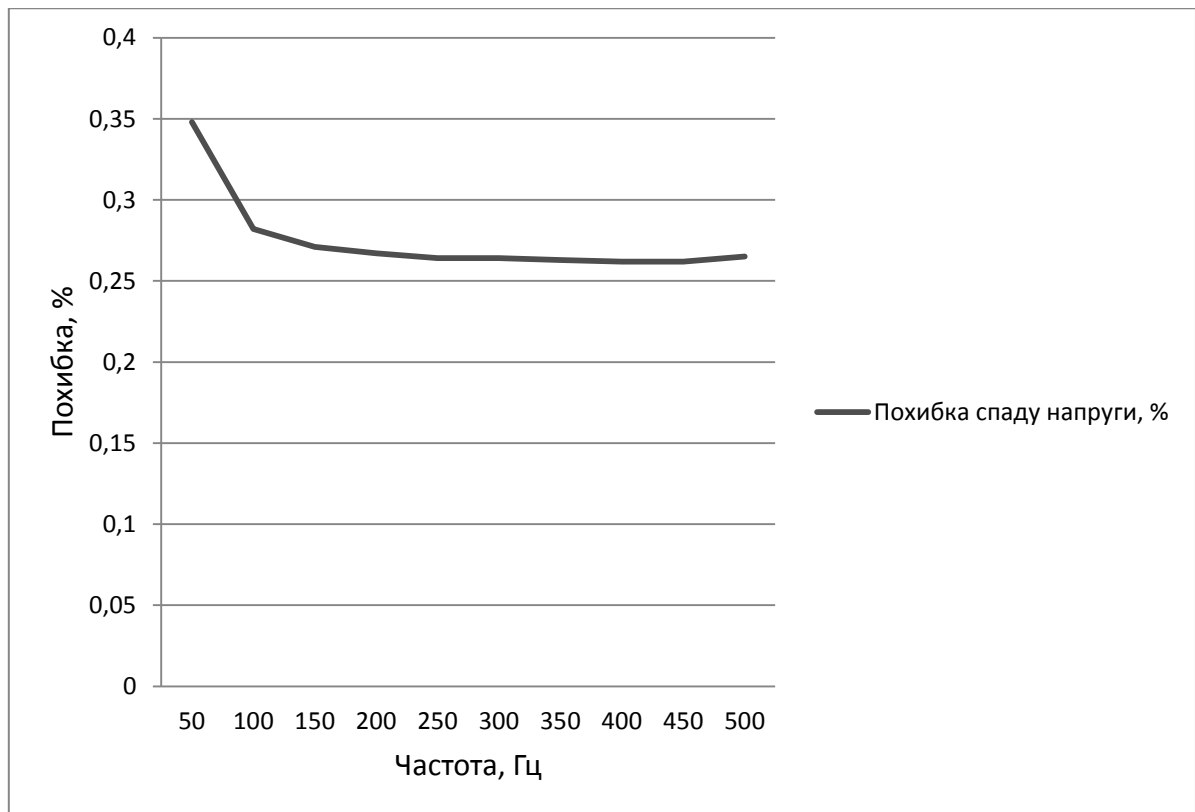


Рис.4.1. Графік залежності похибки спаду напруги від частоти для 1-10 гармонік на аналізаторі з кабелем довжиною 5м.

Аналізуючи рисунок 4.1 можна зазначити, що на частоті 50Гц похибка має своє максимальне значення, далі спадає і тримається в межах 0,262..0,267%.

Далі за аналогією розраховується похибка для наступних гармонік.

Таблиця 4.2. Розрахунок похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 підключеному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем 5м для 11-20 гармонік.

Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В	Похибка спаду напруги, %
550	100	99,734	0,266
600	100	99,735	0,265
650	100	99,735	0,265
700	100	99,735	0,265
750	100	99,736	0,264
800	100	99,735	0,265
850	100	99,736	0,264
900	100	99,735	0,265
950	100	99,735	0,265
1000	100	99,735	0,265

За даними таблиці 4.2 будуємо графік залежності похибки спаду напруги на аналізаторі з кабелем приєднання довжиною 5м від частоти для 11-20 гармонік (Рис.4.2).

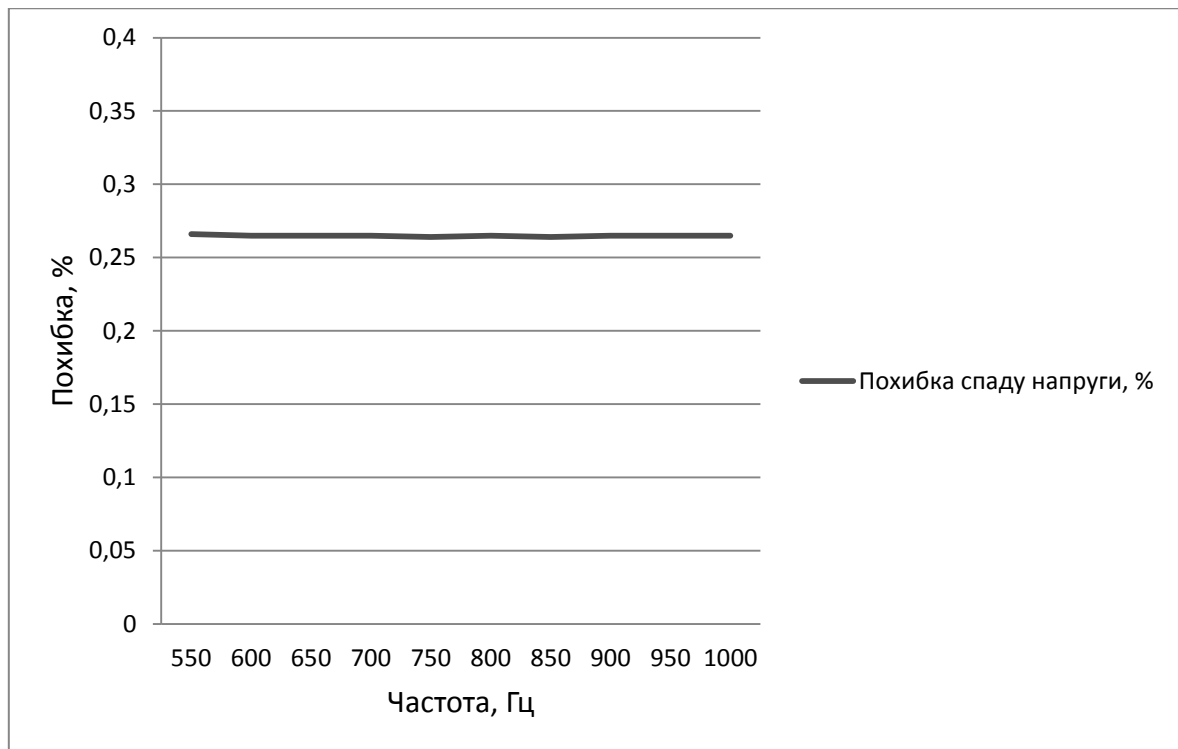


Рис.4.2. Графік залежності похибки спаду напруги від частоти для 11-20 гармонік на аналізаторі з кабелем довжиною 5м.

На рисунку 4.2 можна побачити, що похибка спаду напруги набула сталого вигляду і знаходиться в діапазоні 0,264..0,265%.

Таблиця 4.3. Розрахунок похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 підключеному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем 5м для для 21-30 гармонік.

Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В	Похибка спаду напруги, %
1050	100	99,735	0,265
1100	100	99,735	0,265
1150	100	99,735	0,265
1200	100	99,736	0,264
1250	100	99,735	0,265
1300	100	99,735	0,265
1350	100	99,735	0,265
1400	100	99,735	0,265
1450	100	99,735	0,265
1500	100	99,735	0,265

Згідно таблиці 4.3 бачимо , що межі похибки залишились незмінними для 21-30 гармонік.

Далі за аналогією розраховується похибка для наступних гармонік.

Таблиця 4.4. Розрахунок похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 підключеному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем 5м для 31-40 гармонік.

Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В	Похибка спаду напруги, %
1550	100	99,735	0,265
1600	100	99,735	0,265
1650	100	99,735	0,265
1700	100	99,735	0,265
1750	100	99,736	0,264
1800	100	99,735	0,265
1850	100	99,735	0,265
1900	100	99,735	0,265
1950	100	99,736	0,264
2000	100	99,736	0,264

Також розраховуємо похибку спаду напруги для імпульсних значень частоти на аналізаторі з кабелем 5м. Значення похибки занесені в таблицю 4.5.

Таблиця 4.5. Значення похибки спаду напруги на аналізаторі з кабелем довжиною 5м на імпульсних частотах.

Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В	Похибка спаду напруги, %
50000	100	99,737	0,263
100000	100	99,739	0,261
250000	100	99,764	0,236
500000	100	99,85	0,15
1000000	100	100,204	0,204

Побудуємо графік залежності похибки спаду напруги на аналізаторі з кабелем 5м від імпульсних частот.

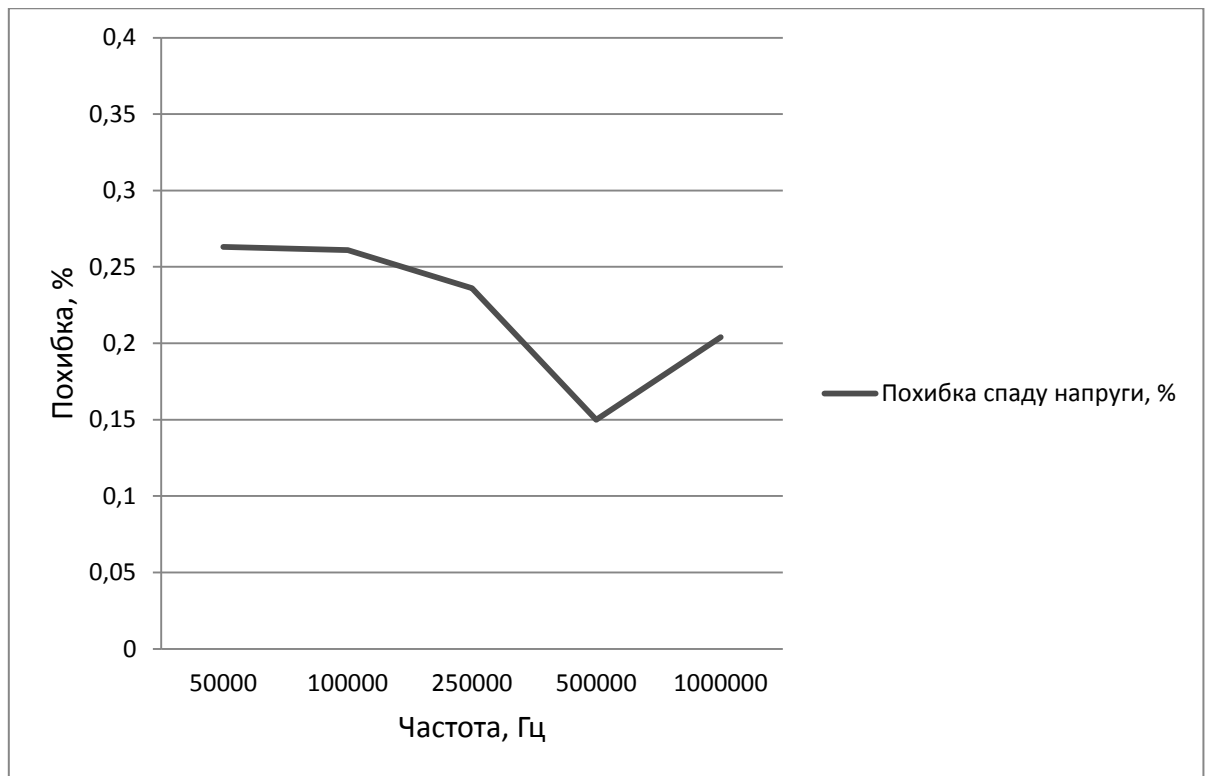


Рис.4.3. Графік залежності похибки спаду напруги від імпульсних частот на аналізаторі з кабелем 5м.

З графіку, представленою на рисунку 4.5, слідує, що на імпульсних частотах присутнє невелике коливання похибки спаду напруги. В інших випадках значення похибки набуває найбільшого значення на першій гармоніці, а далі залишається в межах 0,264..0,265.

*4.2 Визначення похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430
приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною
10м*

Таблиця 4.6. Розрахунок похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 підключеному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем 10м для перших 10-ти гармонік.

Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В	Похибка спаду напруги, %
50	100	99,411	0,589
100	100	99,471	0,529
150	100	99,482	0,518
200	100	99,486	0,514
250	100	99,489	0,511
300	100	99,489	0,511
350	100	99,49	0,51
400	100	99,49	0,51
450	100	99,491	0,509
500	100	99,491	0,509

За даними таблиці 4.6 будуємо графік залежності похибки спаду напруги на аналізаторі з кабелем приєднання 10м від частоти для перших 10-ти гармонік (Рис.4.4).

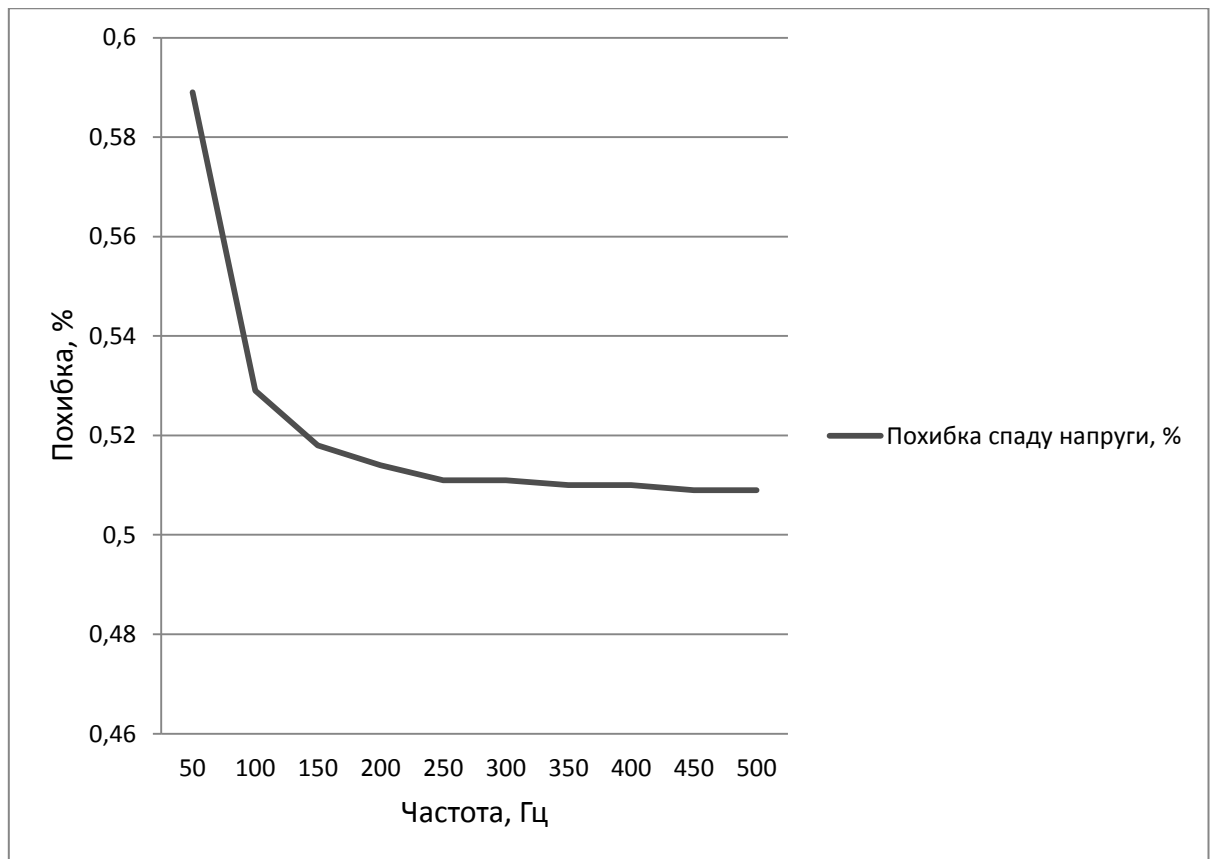


Рис.4.4. Графік залежності похибки спаду напруги від частоти для 1-10 гармонік на аналізаторі з кабелем довжиною 10м.

Аналізуючи рисунок 4.4 можна зазначити, що на частоті 50Гц похибка має своє максимальне значення, далі спадає і тримається в межах 0,509..0,518%.

Далі за аналогією розраховується похибка для наступних гармонік.

Таблиця 4.7. Розрахунок похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 підключеному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем 10м для 11-20 гармонік.

Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В	Похибка спаду напруги, %
550	100	99,491	0,509
600	100	99,491	0,509
650	100	99,491	0,509
700	100	99,491	0,509
750	100	99,492	0,508
800	100	99,491	0,509
850	100	99,492	0,508
900	100	99,491	0,509
950	100	99,491	0,509
1000	100	99,491	0,509

За даними таблиці 4.7 будемо графік залежності похибки спаду напруги на аналізаторі з кабелем приєднання довжиною 10м від частоти для 11-20 гармонік (Рис.4.5).

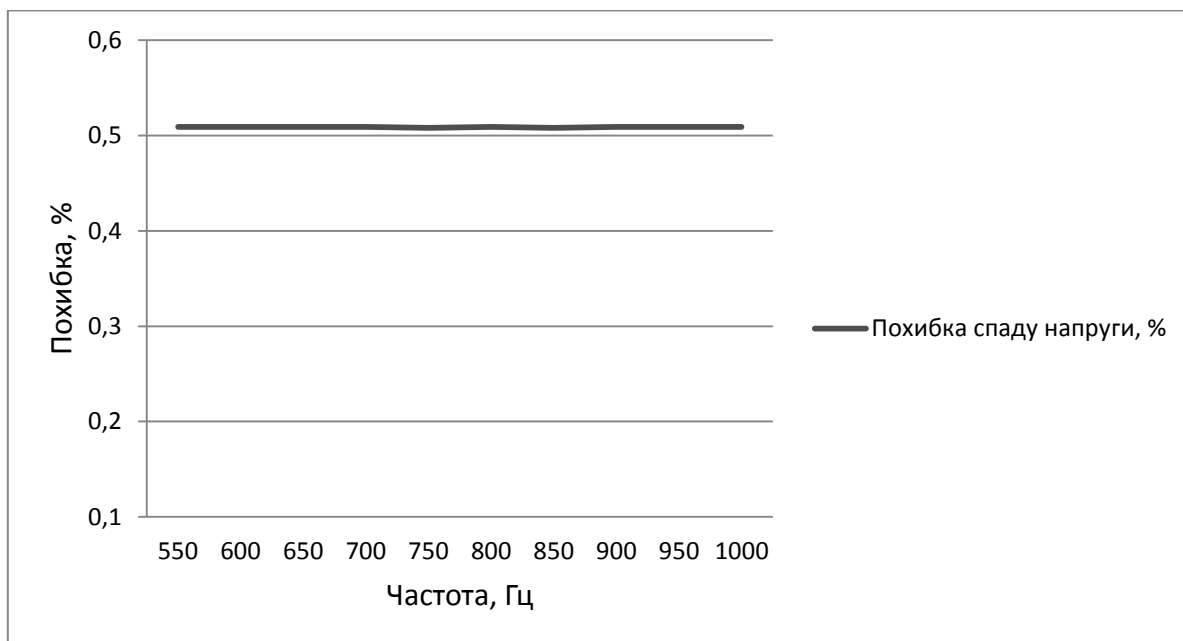


Рис.4.5. Графік залежності похибки спаду напруги від частоти для 11-20 гармонік на аналізаторі з кабелем довжиною 10м.

На рисунку 4.5 можна побачити, що похибка спаду напруги набула сталого вигляду і знаходиться в діапазоні 0,508..0,509%.

Таблиця 4.8. Розрахунок похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 підключеному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем 10м для для 21-30 гармонік.

Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В	Похибка спаду напруги, %
1050	100	99,491	0,509
1100	100	99,491	0,509
1150	100	99,491	0,509
1200	100	99,492	0,508
1250	100	99,491	0,509
1300	100	99,491	0,509
1350	100	99,491	0,509
1400	100	99,491	0,509
1450	100	99,491	0,509
1500	100	99,491	0,509

Згідно таблиці 4.8 бачимо , що межі похибки залишились незмінними для 21-30 гармонік.

Далі за аналогією розраховується похибка для наступних гармонік.

Таблиця 4.9. Розрахунок похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 підключеному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем 10м для 31-40 гармонік.

Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В	Похибка спаду напруги, %
1550	100	99,491	0,509
1600	100	99,491	0,509
1650	100	99,491	0,509
1700	100	99,491	0,509
1750	100	99,492	0,508
1800	100	99,491	0,509
1850	100	99,491	0,509
1900	100	99,491	0,509
1950	100	99,492	0,508
2000	100	99,492	0,508

Також розраховуємо похибку спаду напруги для імпульсних значень частоти на аналізаторі з кабелем 10м. Значення похибки занесені в таблицю 4.10.

Таблиця 4.10. Значення похибки спаду напруги на аналізаторі з кабелем довжиною 10м на імпульсних частотах.

Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В	Похибка спаду напруги, %
50000	100	99,494	0,506
100000	100	99,508	0,492
250000	100	99,607	0,393
500000	100	99,953	0,047
1000000	100	101,324	1,324

Побудуємо графік залежності похибки спаду напруги на аналізаторі з кабелем 10м від імпульсних частот.

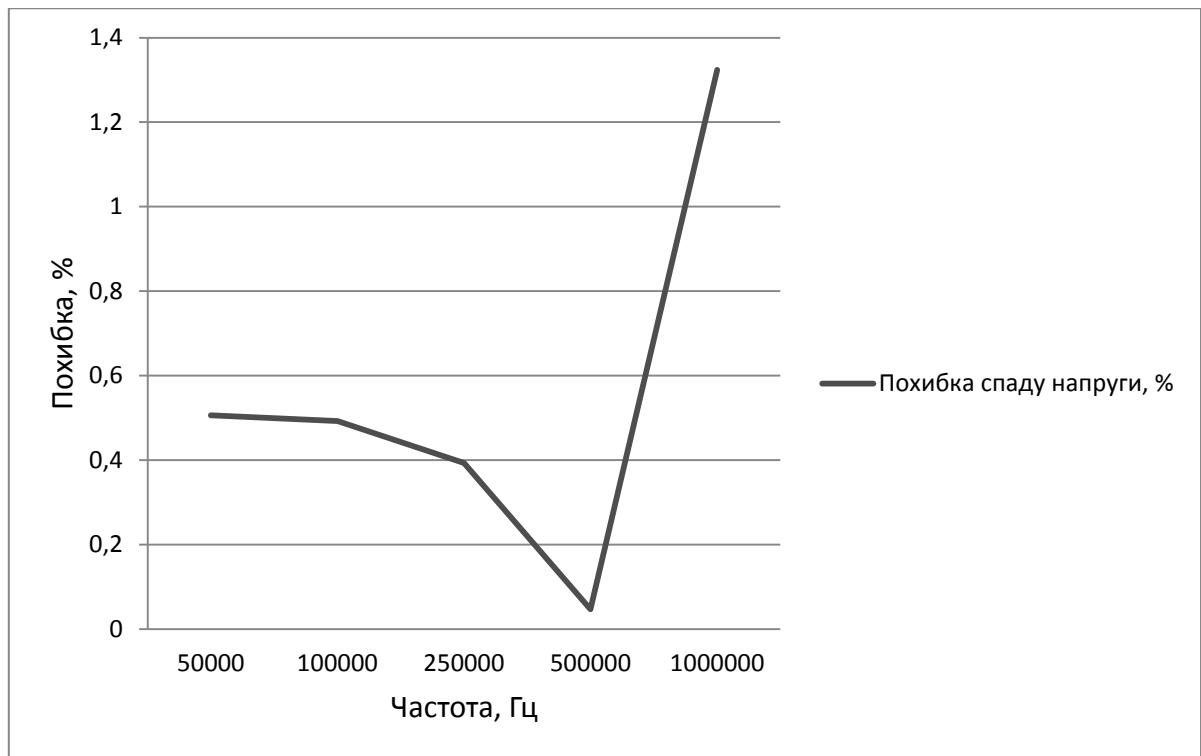


Рис.4.6. Графік залежності похибки спаду напруги від імпульсних частот на аналізаторі з кабелем 10м.

Як бачимо на рисунку 4.6 для імпульсної частоти 1МГц значення похибки перевищує 1%. В інших випадках значення похибки набуває найбільшого значення на першій гармоніці, а далі залишається в межах 0,508..0,509.

*4.3 Визначення похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430
приєднаному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем довжиною
15м*

Таблиця 4.11. Розрахунок похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 підключеному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем 15м для перших 10-ти гармонік.

Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В	Похибка спаду напруги, %
50	100	99,171	0,829
100	100	99,229	0,771
150	100	99,24	0,76
200	100	99,244	0,756
250	100	99,246	0,754
300	100	99,246	0,754
350	100	99,247	0,753
400	100	99,247	0,753
450	100	99,248	0,752
500	100	99,248	0,752

За даними таблиці 4.11 будемо графік залежності похибки спаду напруги на аналізаторі з кабелем приєднання 15м від частоти для перших 10-ти гармонік (Рис.4.7).

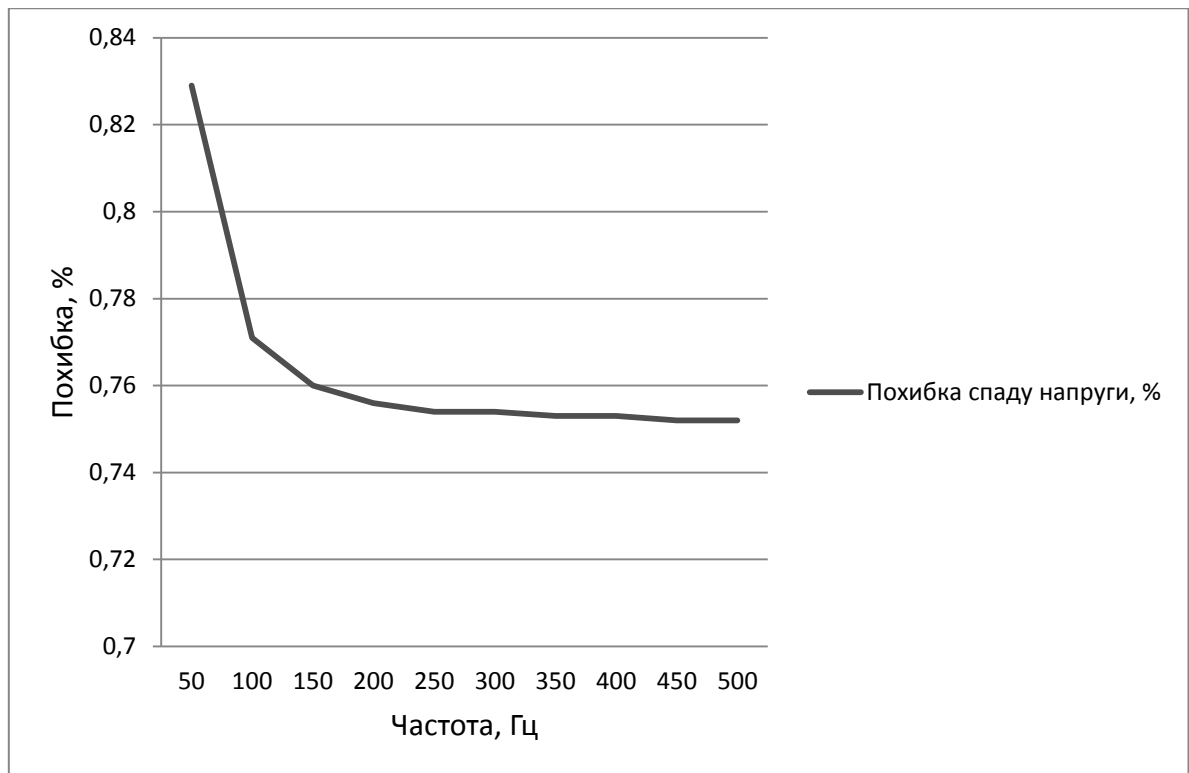


Рис.4.7. Графік залежності похибки спаду напруги від частоти для 1-10 гармонік на аналізаторі з кабелем довжиною 15м.

Аналізуючи рисунок 4.7 можна зазначити, що на частоті 50Гц похибка має своє максимальне значення, далі спадає і тримається в межах 0,752..0,76%.

Далі за аналогією розраховується похибка для наступних гармонік.

Таблиця 4.12. Розрахунок похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 підключеному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем 15м для 11-20 гармонік.

Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В	Похибка спаду напруги, %
550	100	99,248	0,752
600	100	99,248	0,752
650	100	99,248	0,752
700	100	99,248	0,752
750	100	99,249	0,751
800	100	99,248	0,752
850	100	99,249	0,751
900	100	99,248	0,752
950	100	99,248	0,752
1000	100	99,248	0,752

За даними таблиці 4.12 будемо графік залежності похибки спаду напруги на аналізаторі з кабелем приєднання довжиною 15м від частоти для 11-20 гармонік (Рис.4.8).

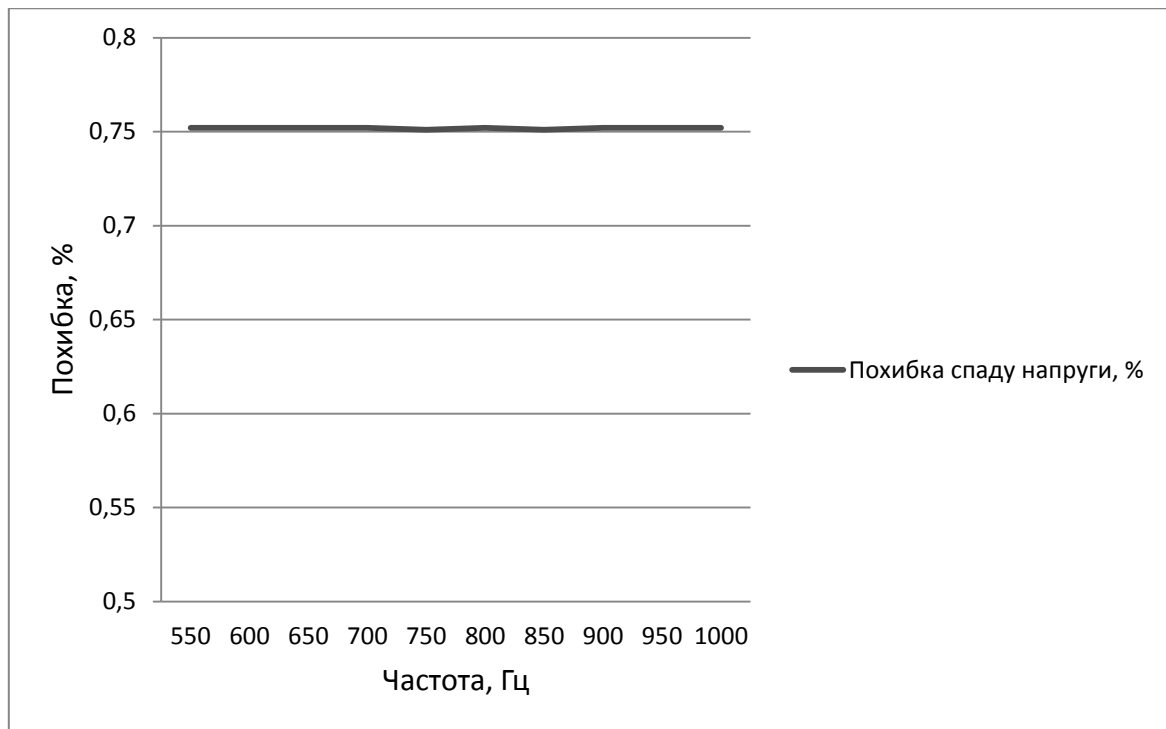


Рис.4.8. Графік залежності похибки спаду напруги від частоти для 11-20 гармонік на аналізаторі з кабелем довжиною 15м.

На рисунку 4.8 можна побачити, що похибка спаду напруги набула сталого вигляду і знаходиться в діапазоні 0,751..0,752%.

Таблиця 4.13. Розрахунок похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 підключеному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем 15м для для 21-30 гармонік.

Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В	Похибка спаду напруги, %
1050	100	99,248	0,752
1100	100	99,248	0,752
1150	100	99,248	0,752
1200	100	99,249	0,751
1250	100	99,248	0,752
1300	100	99,248	0,752
1350	100	99,248	0,752
1400	100	99,248	0,752
1450	100	99,248	0,752
1500	100	99,249	0,751

Згідно таблиці 4.13 бачимо , що межі похибки залишись незмінними для 21-30 гармонік.

Далі за аналогією розраховується похибка для наступних гармонік.

Таблиця 4.14. Розрахунок похибки спаду напруги на аналізаторі ELSPEC G4430 підключеному до низьковольтного плеча подільника напруги кабелем 15м для 31-40 гармонік.

Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В	Похибка спаду напруги, %
1550	100	99,248	0,752
1600	100	99,248	0,752
1650	100	99,248	0,752
1700	100	99,248	0,752
1750	100	99,249	0,751
1800	100	99,248	0,752
1850	100	99,248	0,752
1900	100	99,248	0,752
1950	100	99,249	0,751
2000	100	99,249	0,751

Також розраховуємо похибку спаду напруги для імпульсних значень частоти на аналізаторі з кабелем 15м. Значення похибки занесені в таблицю 4.15.

Таблиця 4.15. Значення похибки спаду напруги на аналізаторі з кабелем довжиною 15м на імпульсних частотах.

Частота, Гц	Напруга на плечі, В	Напруга на аналізаторі, В	Похибка спаду напруги, %
50000	100	99,258	0,742
100000	100	99,289	0,711
250000	100	99,508	0,492
500000	100	100,272	0,272
1000000	100	103,239	3,239

Побудуємо графік залежності похибки спаду напруги на аналізаторі з кабелем 15м від імпульсних частот.

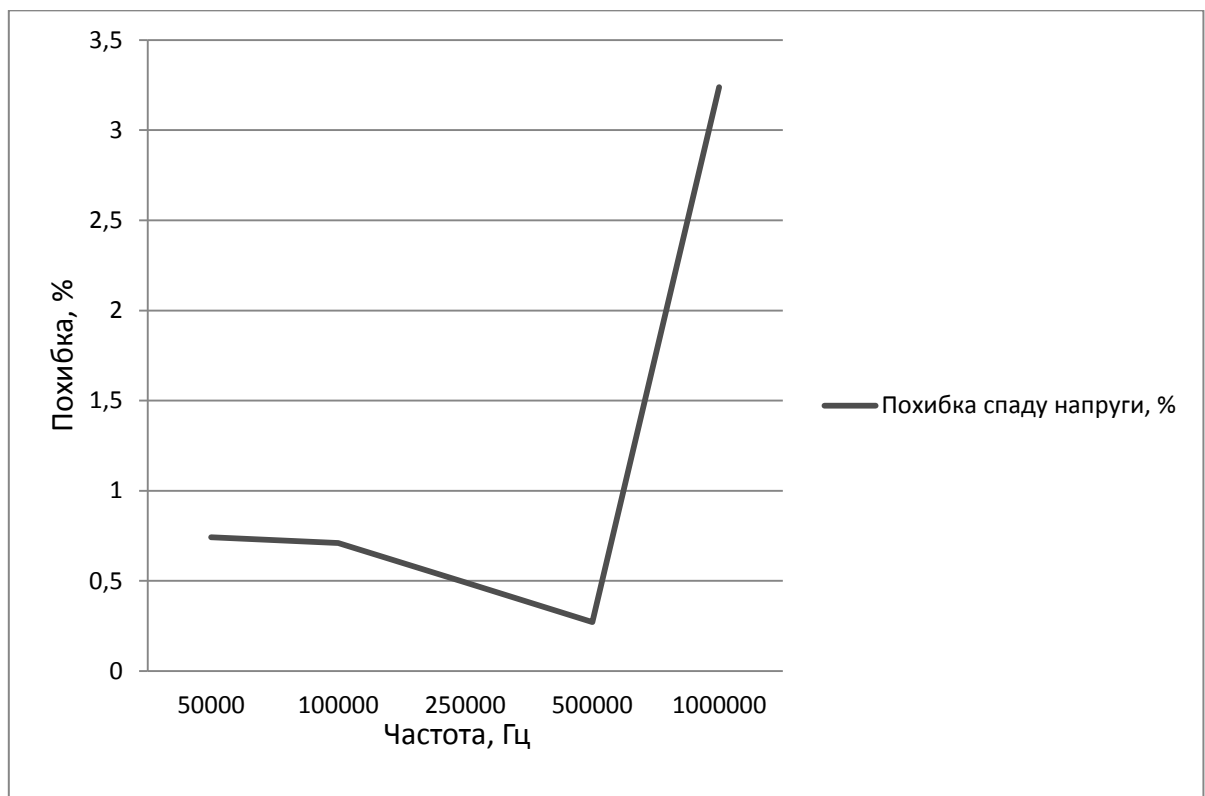


Рис.4.9. Графік залежності похибки спаду напруги від імпульсних частот на аналізаторі з кабелем 15м.

Як бачимо на рисунку 4.9 для імпульсної частоти 1МГц значення похибки перевищує 3%. В інших випадках значення похибки набуває найбільшого значення на першій гармоніці, а далі залишається в межах 0,751..0,752.

Для більш детального аналізу зміни похибки відносно довжини кабелю приєднання наведено спільний графік залежності (Рис.4.10) похибки спаду напруги від частоти на аналізаторі ELSPEC G4430 з кабелем довжинами 5, 10 та 15м.

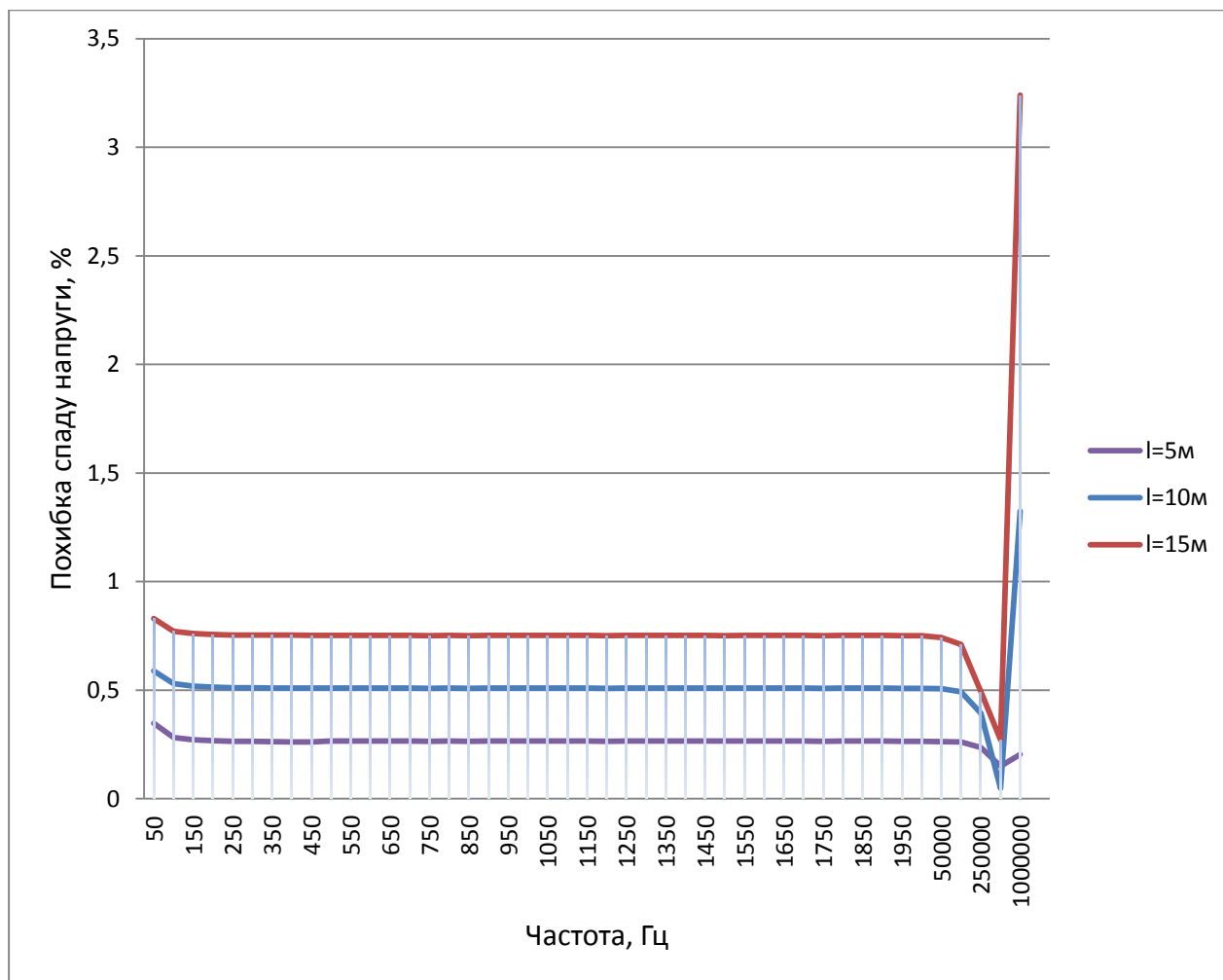


Рис.4.10. Спільний графік залежності похибки спаду напруги від частоти для перших на аналізаторі ELSPEC G4430 з кабелем довжинами 5, 10 та 15м.

Висновки до розділу 4

1. Аналізуючи результати розрахунків похибки, яку вносить приєднання аналізатора показників якості електроенергії, можна зробити висновок, що зі збільшенням довжини кабелю приєднання зростає і похибка.

2. Згідно одержаних розрахунків, значення похибки спаду напруги на аналізаторі з кабелем 10м більше майже в 2 рази за значення похибки спаду напруги на аналізаторі з кабелем 5м, в той час як значення похибки спаду напруги на аналізаторі з кабелем 15м більше майже в 3 рази.

3. За результатами розрахунків найбільші значення похибки припадають на перші дві гармоніки, тобто за частот 50 та 100Гц. Пікове значення похибки припадає на частоту 1МГц для аналізатора з кабелем довжиною 15м, і сягає 3,239%. В той час як найменше значення похибки відповідає аналізатору з кабелем довжиною 10м, на частоті 500кГц, і сягає 0,04%, що є досить близьким до нуля.

4. Не зважаючи на вплив приєднання аналізатору з кабелем, найбільші значення похибки для перших 40-а гармонік повністю задовольняють вимогам діючого державного стандарту ГОСТ 13109, оскільки жодне з отриманих значень похибки не перевищує 5% від значення першої гармоніки. Слід зауважити, що до похибки, яку вносить приєднання аналізатора якості електроенергії, необхідно додавати власну похибку масштабного перетворення подільника напруги.

5. Стартap: комерціалізація вимірювання показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430

5.1 Опис ідеї проекту

Електрична енергія оточує нас з усіх сторін. Наразі жодна людина не може уявити своє життя без побутової, цифрової та, в цілому, будь-якої техніки, яка в свою чергу живиться від електричних мереж. Тому вже давно існує необхідність вимірювання на контролю показників якості електричної енергії між постачальником та її споживачем. Існує багато примітивних приладів контролю показників якості електроенергії, які можливо застосовувати за вузьких вимог, а розвиток більшості з них стоїть на місці.

Об'єктом дослідження виступає аналізатор з серії ELSPEC G4430, є провідними в даній сфері. Даний аналізатор є досить функціональним, адже він дає можливість користувачеві вимірювати показники якості електричної як в однофазних мережах, так і в трифазних. Окрім того, він повністю прибирає необхідність розрахунків певних параметрів та відхилень власноруч. Маючи вбудований вміст пам'яті, аналізатор сам вимірює та зберігає показники. А завдяки власному Web-серверу та програмному забезпеченню, обробляє та архівує отримані результати вимірювань показників якості електроенергії.

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап-проекту методів вимірювання показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди користувача</i>
Застосування аналізатора ELSPEC G4430 для контролю якості електричної енергії на високій напрузі	1. Підключення до будь-якої із можливих схем електричних мереж	Можливість живлення аналізатору як від мережі 220В, так і від батареї
	2. Визначення показників якості електричної енергії, які затверджені діючими державними стандартами	Користувач може сам в налаштуваннях вибирати, які показники необхідно вимірювати
	3. Розрахунок можливих похибок на відхилень від нормованих значень	Можливість аналізу отриманих результатів вимірювання

Нижче представлений зміст ідеї, що пропонується, можливі напрямки застосування, основні вигоди, що може отримати користувач товару за кожним напрямком застосування, відмінності від існуючих аналогів та замінників. Перші три пункти подаються у вигляді таблиці (табл. 5.1) і дають цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Провівши аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів, можна стверджувати наступне: метод вимірювання показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430 з найменшим відхиленням виміряти необхідні показники якості електричної енергії та для більш зручного аналізу, виводити результати в вигляді таблиць або діаграм.

Проведений порівняльний аналіз показників для власної ідеї за показниками: а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) заносимо до табл. 5. 2.

Таблиця 5.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї вимірювання показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430

n/n	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент			
1.	Аналіз приладу, що дозволяє вимірювати ПЯЕ на ВН	Застосування аналізатору ELSPEC G4430 для визначення показників ЯЕ на ВН	Аналогові прилади	Можлива потреба узгодження з іншими приладами	Визначення одних і тих самих параметрів	Широкий діапазон застосування приладу та зручність в використанні

За приведеним переліком слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару можна стверджувати про конкурентоспроможність проекту визначення показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведений аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (табл. 5.3):

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/доробити?
- чи доступні такі технології авторам проекту?

Табл. 5.3. Технологічна здійсненність ідеї визначення показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430

№ n/n	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступні- сть технологій
		Технологія 1	Чи вони наявні, або ж необхідно їх розробити/доробити ?	Чи вони доступні авторам проекту?
	Застосування аналізатору ELSPEC G4430 для визначення показників ЯЕ на ВН	Технологія розрахунку основних показників якості електричної енергії аналізатором в залежності від схеми приєднання	Технології наявні, але необхідне їх постійне оновлення	Технології авторам частково доступні

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок щодо можливості технологічної реалізації проекту: реалізація можлива за вибору найновіших технологій застосування, а також за постійного оновлення програмного забезпечення приладів.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

До табл. 5.4 занесені результати проведеного аналізу попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку.

Табл. 5.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту визначення показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж (орієнтовна ціна), грн/ум.од	--
3	Динаміка ринку	Поступово зростає
4	Наявність обмежень для входу	Висока ціна на обладнання та послуги
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Потребують розробки
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Невідома

Надалі визначені потенційні групи клієнтів та сформований орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.5).

Табл. 5.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту визначення показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430

<i>№</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти)</i>	<i>Відмінності у поведінці потенційних груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1	Визначення показників якості електроенергії на ВН	Електричні станції, підстанції, дослідницькі інститути, підприємства, мобільні лабораторії, власники споруд різного цільового призначення	Відсутня можливість виміру всіх показників та відсутня можливість приєднання до будь-якої схеми мережі	Відповідність діючому державному стандарту ГОСТ 13109. Ступінь захисту – не нижче IP30.

Проведений аналіз факторів загроз та можливостей реалізації стартап – проекту визначення показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430. Дані наведені в таблиці 5.6 та таблиці 5.7.

Табл.5.6. Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Зниження фінансових можливостей замовників	Висока вартість обладнання для визначення ПЯЕ	Заклучення вигідних договорів, зменшення цін на послуги у вигляді регулярних акцій

Табл.5.7. Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Зміни в державних стандартах	Відповідність приладу вимогам діючого державного стандарту ГОСТ 13109 та стандартам провідних європейських країн	Проведення рекламних компаній опираючись на відповідність приладу вимогам державних стандартів, для залучення нових потенційних клієнтів
2	Зростання попиту на енергетичному ринку	Комфортне налаштування приладу з використанням ПЗ задля його використання на будь-яких об'єктах	Розробка компанією спеціальних пропозицій, в яких буде робитись акцент на перевагах використання їх приладу над іншими

За визначеними факторами конкурентоспроможності проведений аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 5.8).

Табл. 5.8. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін визначення показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг методу визначення ПЯЕ на ВН у порівнянні з конкурентом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Можливість приєднання як до мереж НН, так і до мереж ВН	17			X				
2.	Архівація отриманих результатів вимірювання за допомогою власного ПЗ	15		X					
3.	Використання результатів вимірювання для подальшого аналізу та дослідження похибок	10				X			
4.	Використання матеріалів, наведених в каталогах фірм-виробників	15				X			
5.	Розроблення нормативної документації	16				X			
6.	Загальний результат			-2	-1				

У відповідності до таблиці 5.8, можемо підсумувати, що до сильних сторін проекту відноситься: можливість робити виміри показників якості електроенергії в мережах ВН, що властиво не всім аналізаторам, можливість архівувати результати вимірювання на базі запатентованого ПЗ, використання збережених на власних Web-серверах даних вимірювання для подальшого аналізу їх та визначення відхилень від нормованих значень. До слабких сторін можна віднести ціну самого аналізатора. Сумарний рейтинг товарів-конкурентів складає «-3».

Аналізуючи сильні та слабкі сторони стартап-проекту визначення показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430, а також факторів загроз та можливостей проводимо SWOT-аналіз (табл.5.9).

Табл.5.9. SWOT-аналіз стартап-проекту

<u>Сильні сторони:</u> Можливість приєднання як до мереж НН, так і до мереж ВН; Архівація отриманих результатів вимірювання за допомогою власного ПЗ; Використання результатів вимірювання для подальшого аналізу та дослідження похибок.	<u>Слабкі сторони:</u> відносно мала популярність на українському енергоринку. Висока вартість.
<u>Можливості:</u> проведення вимірювань показників ЯЕ як на території України, так і на території провідних країн світу, так як прилад вимірює показники у відповідності до вимог діючих стандартів. Використання приладу на будь-яких енергетичних об'єктах та за різних умов використання.	<u>Загрози:</u> висока собівартість обладнання. Орієнтація в основному на провідні енергетичні компанії.

Висновки до розділу 5

1. Оскільки попит на даний проект на ринку наявний, динаміка ринку поступово зростає, можна зробити висновок щодо комерціалізації визначення показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430 – існують значні перспективи впровадження вимірювань показників якості електроенергії даним аналізатором з огляду на потенційні групи клієнтів, бар'єри входження, стан конкуренції, конкурентоспроможність проекту.

2. За умов постійного удосконалення державних стандартів по визначенню показників якості електроенергії можливе впровадження проекту визначення показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430, розроблення досконалої моделі для масової реалізації, а також єдиної системи стандартизації даного типу електричного обладнання, комерціалізація визначення показників якості електроенергії на високій напрузі з використанням аналізатора ELSPEC G4430.

Висновки

1. В дисертаційній роботі було розглянуто використання аналізатора ELSPEC G4430 для вимірювання показників якості електроенергії на високій напрузі. Показники якості електроенергії є необхідними для їх постійного контролю, так як за ними можна судити безпосередньо про стан електричного обладнання та знаходити недоліки мережі, тому, за сукупністю характеристик, розглянутий в роботі аналізатор може бути застосований для визначення показників якості електроенергії як у низьковольтних, так і у високовольтних електромережах.

2. Розглянутий в роботі аналізатор ELSPEC G4430, який належить до серії G4400, визначає необхідні показники якості електричної енергії, затвердженні діючим державним стандартом ГОСТ 13109 та міжнародними стандартами EN 50160, IEC 61000-4-15, IEC 61000-4-7, IEC 61000-4-30, ГОСТ Р 52323-2005. До переваг даного аналізатора відносяться: можливість підключення до будь-яких схем мережі (1-но фазних та 3-и фазних), автономність, модульність конструкції, зручність одержання, зберігання та обробки інформації, формування звітів відповідності показників якості електроенергії у відповідності до кількох стандартів, включаючи ГОСТ 13109.

3. Для більш точного визначення показників якості електроенергії розглянуто можливість узгодження аналізатора ELSPEC G4430 з низьковольтним плечем подільника напруги класу 110 кВ. За допомогою моделювання схем приєднання одержані значення спаду напруги на низьковольтному плечі подільника напруги на холостому ході та за умови приєднання до низьковольтного плеча подільника напруги аналізатора за допомогою кабеля довжиною 5, 10 та 15м в широкому діапазоні частот.

4. В роботі побудовані залежності похибок визначення напруги аналізатором ELSPEC G4430, приєданого кабелем до низьковольтного плеча подільника напруги від частоти вхідної напруги у відсотках по відношенню до напруги на низьковольтному плечі подільника напруги за режиму холостого ходу. Одержані

результати свідчать про зростання похибки зі зростанням довжини кабелю приєднання. Таким чином, за довжини кабелю 5м на 20-й гармоніці похибка складала 0,265%, за довжини кабелю 10м - 0,509%, а за довжини кабелю 15м - 0,752%. Також, одержані результати свідчать про нелінійний характер зміни похибки зі збільшенням частоти. Одержані результати свідчать про наявність мінімумів похибки для одержаних залежностей та різке збільшення похибки за частот мегагерцового діапазону. З цього слідує, що для більш точних вимірювань показників якості електроенергії аналізатором ELSPEC G4430, рекомендується виконувати розрахунок низьковольтного плеча подільника напруги з урахуванням впливу приєднання аналізатора кабелем відповідної довжини.

5. В роботі розроблений стартап-проект, результати якого свідчать, що існує значна перспектива впровадження вимірювань показників якості електроенергії з використанням аналізатора ELSPEC G4430 на високій напрузі.

Список використаних джерел

1. Никифорова Н. В. Управление качеством электрической энергии / Н. В. Никифорова. – Москва: ННОУ "Учебно-методический центр ЛИНВИТ", 2009.
2. Сафонов Д.Г. Анализ основных характеристик современных средств измерения показателей качества электроэнергии / Сафонов Д.Г., Тураханов К.Х.. // Омский научный вестник. – 2011. – №1.
3. Регистратор показателей качества электрической энергии «Парма РК3.02» РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ. // ООО «ПАРМА», Санкт-Петербург.
4. Микропроцессорный регистратор - анализатор качества электрической энергии в 1-фазных и 3-фазных электрических сетях АКЭ-824 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://printsip.ru/download/instr/AKIP/ake-823-824.pdf>.
5. Fluke 1732 и 1734 Регистраторы качества электроэнергии для трехфазной сети. // ООО «Флюк СИАЙЭС». – С. 1–10.
6. Анализатор качества электроэнергии HIOKI 3196 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://masteram.com.ua/ru/power-quality-analyzer-hioki-3196/>.
7. Анализ качества электроэнергии в городских распределительных сетях 0,4 кВ / С. А.Темербаев, Н. П. Боярская, В. П. Довгун, В. О. Колмаков. // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 1. – 2013. – С. 107–120.
8. ИЗМЕРЕНИЕ И АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ / БЕБИХОВ Ю.В., МАТУЛ Г.А., САМСОНОВ А.В., СЕМЁНОВ А.С.. // Естественные и технические науки. – 2015.
9. Шиганов А.А. Приборы измерения норм качества электроэнергии / Шиганов А.А.. // Журнал «РАДИО». – 2005. – №5.

10. Анализаторы качества электроэнергии - приборы контроля ПКЭ
[Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.rauta-energy.ru/analizator-kachestva-electroenergii.html>.
11. Liviu Tomesc. LOW-COST POWER QUALITY ANALIZER / Liviu Tomesc, Petru Dobra, Mihail Abrudean. // IFAC Proceedings Volumes. – 2007. – №40. – С. 157–162.
12. ELSPEC LTD. G4K. Fixed Power Quality Analyzer. Blackbox User & Installation Guide V1.2. October 2013.
13. ELSPEC LTD. G4K. Fixed Power Quality Analyzer. User & Installation Guide (rus). 2013. Available at: <http://elspec-ltd.com/download/g4400-user-guide/> (accessed 26 August 2017).
14. ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».
15. ГОСТ Р 52323-2005 «Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока.
Частные требования. Статические счетчики активной энергии классов точности 0,2S и 0,5S».
16. DSTU IEC 61000-4-30:2010. Elektromahnitna sumisnist'. Chastyna 4-30. Metody vyprovuvannya ta vymiryuvannya. Vymiryuvannya pokaznykiv yakosti elektroenerhiyi [State Standard DSTU IEC 61000-4-30:2010. Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-30. Testing and measurement techniques. Power quality measurement methods]. Kyiv, DP «UkrNDNC» Publ., 2016. 49 p. (Ukr).
17. DSTU EN 50160:2014. Kharakterystyky napruhy elektropostachannya v elektrychnykh merezhakh zahal'noyi pryznachenosti [State Standard DSTU EN 50160:2014. Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks]. Kyiv, Ministry of Economic Development of Ukraine Publ., 2014.